

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATHÁLIA MARCIA GOULART PINHEIRO

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA PRODUÇÃO PUXADA, EMPURRADA E
HÍBRIDA ATRAVÉS DE MODELO DE SIMULAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO
EM INDÚSTRIA GRÁFICA

CURITIBA

2016

NATHÁLIA MARCIA GOULART PINHEIRO

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA PRODUÇÃO PUXADA, EMPURRADA E
HÍBRIDA ATRAVÉS DE MODELO DE SIMULAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO
EM INDÚSTRIA GRÁFICA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, área de concentração em Tecnologia e Inovação, Departamento de Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Marcelo Gechele Cleto.

CURITIBA

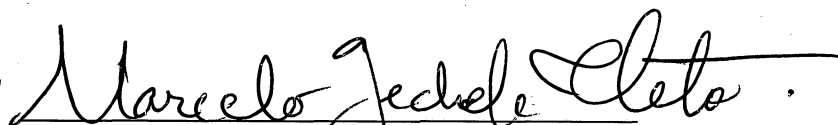
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

NATHÁLIA MARCIA GOULART PINHEIRO

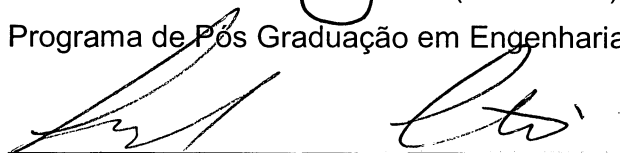
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA PRODUÇÃO PUXADA, EMPURRADA E HÍBRIDA ATRAVÉS DE MODELO DE SIMULAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA GRÁFICA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



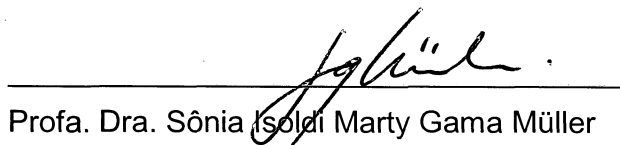
Prof. Dr. Marcelo Gedhele Cleto (Orientador)

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção-UFPR



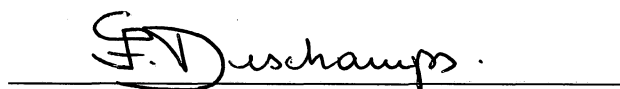
Profa. Dra. Izabel Cristina Zattar

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção-UFPR



Profa. Dra. Sônia Isoldi Marty Gama Müller

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção-UFPR



Prof. Dr. Fernando Deschamps

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas-PUC/PR

Curitiba, 29 de Fevereiro de 2016

Dedico este trabalho aos meus queridos pais Orlando e Margarete que, além de estarem sempre disponíveis para me acalantar em todos os momentos de dificuldade, foram um grande incentivo para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto que me acompanhou cuidadosamente em todo o mestrado com muita competência e serenidade.

Aos professores do Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Paraná, em especial à Profa. Dra. Izabel Zattar que desde a nossa primeira conversa me deu todo apoio e incentivo.

Ao meu esposo André por sua cooperação, paciência e amor nos momentos mais oportunos.

À minha amiga e companheira Mel que esteve sempre ao meu lado.

Aos meus pais e irmão que buscaram compreender minha ausência por dois longos anos e incentivaram para que pudesse concluir todos os meus objetivos.

Desistir... eu já pensei seriamente nisso, mas nunca me levei realmente a sério;
é que tem mais chão nos meus olhos do que o cansaço nas minhas pernas,
mais esperança nos meus passos, do que tristeza nos meus ombros, mais
estrada no meu coração do que medo na minha cabeça.

Cora Coralina

RESUMO

Nos últimos anos os sistemas de gestão da produção passaram por uma reestruturação relacionada à novas filosofias, conceitos e métodos de gestão, os quais se transformaram em fontes de vantagens competitivas para as empresas. A programação da produção, que integra o nível operacional do planejamento e controle da produção, pode ser considerada sob as abordagens puxada, empurrada ou uma combinação de ambas, formando um sistema híbrido. Cada abordagem possui características específicas, vantagens e desvantagens. Diante deste contexto, o presente trabalho objetiva comparar os indicadores de desempenho da produção puxada, empurrada e híbrida, em um ambiente de produção específico da indústria gráfica através de simulação computacional. Para execução do trabalho foi realizado um estudo de caso na indústria gráfica, buscando gerar um modelo conceitual do sistema produtivo. A partir do modelo conceitual foi gerado um modelo computacional, que foi verificado e validado como representativo do sistema produtivo. Foram gerados então modelos fictícios dos ambientes de produção puxada, empurrada e híbrida visando comparar o desempenho destes em relação aos tempos de ciclo, níveis de material em processo e atendimento à demanda, variando a quantidade de pedidos confirmados pelos clientes. A análise dos modelos permitiu afirmar que, o sistema híbrido apresentou o melhor desempenho quanto aos níveis de materiais em processo, para todas as demandas simuladas, porém houve falha no atendimento à demanda devido aos tempos de ciclo muito altos. O sistema real e o ambiente empurrado obtiveram os piores desempenhos quanto aos níveis de estoque em processo, além de apresentarem falhas no atendimento à demanda e tempos de ciclo muito altos. Finalmente, o ambiente puxado, obteve o melhor desempenho para atendimento à demanda, tempo de ciclo sincronizado com a demanda e estoque de materiais em processo moderado. Conclui-se então que, para as condições simuladas neste trabalho, o ambiente puxado apresentou melhor desempenho geral que os demais ambientes.

Palavras-chave: Programação da Produção. Empurrada e Puxada. Desempenho de sistemas. Simulação.

ABSTRACT

Recently, production management systems have undergone a restructuring process related to new philosophies, concepts and management methods, which have become sources of competitive advantage for companies. The production scheduling, which includes the operational level of Production Planning and Controls, may be considered under the approaches pulled, pushed, or a combination of both, forming a hybrid system. Each approach has specific features, advantages and disadvantages. Given this context, the present study aims to compare the performance indicators of pull, pushed and hybrid production in a specific production system in the printing industry through a computer simulation. To carry out the work, a case study in the printing industry was done, seeking to generate a conceptual model of the production system. From the conceptual model, a computer model was generated, which was verified and validated as representative of the production system. Then, fictitious models of pull, pushed and hybrid production were generated in order to compare the performance over cycle times, work in process and backorders, varying the amount of requests made by customers. The analysis of the models allowed stating that the hybrid system showed the best performance about the work in process levels for all simulated demands, but failed to meet demand due to the very high cycle times. The actual system and pushed system got the worst performers as the work in process levels, present failures in meeting the demand and very high cycle times. Finally, the pulled system, had the best performance to meet demand, cycle time synchronized with demand and moderate work in process levels. It is concluded that, for the conditions simulated in this work, pulled system better than other systems.

Keywords: Production Scheduling. Push and Pull. System Performance. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DINÂMICA DO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	30
FIGURA 2 - OPERAÇÕES FUNDAMENTAIS DO MRP	34
FIGURA 3 - OPERAÇÕES FUNDAMENTAIS DO MRP II	35
FIGURA 4 - FLUXOS DE INFORMAÇÃO E PRODUÇÃO NA PROGRAMAÇÃO EMPURRADA	36
FIGURA 5 - SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO E JIT	40
FIGURA 6 - FLUXOS DE INFORMAÇÃO E PRODUÇÃO NA PROGRAMAÇÃO PUXADA	41
FIGURA 7 - FLUXOS DE INFORMAÇÃO E PRODUÇÃO NA PROGRAMAÇÃO HÍBRIDA	44
FIGURA 8 - SISTEMAS CONWIP, MRP E KANBAN SOB A PERSPECTIVA DA MODELAGEM DAS FILAS	46
FIGURA 9 - SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM AMBIENTE DE PRODUÇÃO	51
FIGURA 10 - METODOLOGIA DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO	61
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO DA FILA E DA ATIVIDADE NO ACD	62
FIGURA 12 - ACD DE UM SISTEMA CONSERVATIVO	63
FIGURA 13 - ACD DE UM SISTEMA NÃO CONSERVATIVO	63
FIGURA 14 - METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO	65
FIGURA 15 - INTERFACE INICIAL DO SIMUL8	70
FIGURA 16 - CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	72
FIGURA 17 - ETAPAS DA PESQUISA	74
FIGURA 18 - PRINCIPAIS PROCESSOS DA INDÚSTRIA GRÁFICA	82
FIGURA 19 - PLANTA PRODUTIVA DO PARQUE GRÁFICO EM ESTUDO	87
FIGURA 20 - TRANSFORMAÇÃO DE MATÉRIA PRIMA EM PRODUTO ACABADO NOS PRODUTOS MTS	92
FIGURA 21 - TRANSFORMAÇÃO DE MATÉRIA PRIMA EM PRODUTO ACABADO NOS PRODUTOS ATO	92
FIGURA 22 - PROCESSO PRODUTIVO DA GRÁFICA EM ESTUDO	93
FIGURA 23 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DA GRÁFICA EM ESTUDO ...	98
FIGURA 24 - MODELO COMPUTACIONAL PROPOSTO	110

FIGURA 25 - DINÂMICA DAS SIMULAÇÕES PARA ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS DE AMBIENTES DE PRODUÇÃO	114
FIGURA 26 - MODELO COMPUTACIONAL PROPOSTO PARA O AMBIENTE EMPURRADO	117
FIGURA 27 - MODELO COMPUTACIONAL PROPOSTO PARA O AMBIENTE PUXADO	120
FIGURA 28 - MODELO COMPUTACIONAL PROPOSTO PARA O AMBIENTE HÍBRIDO	124
FIGURA 29 - DEMANDA VERSUS PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA PARA O PRODUTO 1	136
FIGURA 30 - DEMANDA VERSUS PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA PARA O PRODUTO 2	136
FIGURA 31 - DEMANDA VERSUS PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA PARA O PRODUTO 3	137
FIGURA 32 – DEMANDA TOTAL VERSUS PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA	137
FIGURA 33 - DEMANDA VERSUS SALDO DE PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA AO FINAL DO ANO PARA O PRODUTO 1	139
FIGURA 34 - DEMANDA VERSUS SALDO DE PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA AO FINAL DO ANO PARA O PRODUTO 2	140
FIGURA 35 - DEMANDA VERSUS SALDO DE PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA AO FINAL DO ANO PARA O PRODUTO 3	140
FIGURA 36 - DEMANDA TOTAL VERSUS SALDO DE PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA	141
FIGURA 37 - WIP TOTAL NO SISTEMA PARA CADA ALTERAÇÃO NA DEMANDA.....	142
FIGURA 38 - TEMPOS DE CICLO PARA CADA ALTERAÇÃO NA DEMANDA PARA O PRODUTO 1	144
FIGURA 39 - TEMPOS DE CICLO PARA CADA ALTERAÇÃO NA DEMANDA PARA O PRODUTO 2	144
FIGURA 40 - TEMPOS DE CICLO PARA CADA ALTERAÇÃO NA DEMANDA PARA O PRODUTO 3	145

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - COMPARATIVO ENTRE A PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EMPURRADA E A PUXADA	49
QUADRO 2 - MEDIDAS DE DESEMPENHO RELACIONADAS AOS NÍVEIS DE MATERIAIS	53
QUADRO 3 - MEDIDAS DE DESEMPENHO RELACIONADAS AOS NÍVEIS DE ATENDIMENTO À DEMANDA	54
QUADRO 4 - MEDIDAS DE DESEMPENHO RELACIONADAS AOS TEMPOS DE PROCESSO	55
QUADRO 5 - MEDIDAS DE DESEMPENHO RELACIONADAS À CAPACIDADE PRODUTIVA	57
QUADRO 6 – FERRAMENTAS E MÉTODOS UTILIZADOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA PESQUISA	78
QUADRO 7 - NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA NAS GRÁFICAS POR REGIÕES DO BRASIL	80
QUADRO 8 - CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA EM ESTUDO	86
QUADRO 9 - DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS DA GRÁFICA EM ESTUDO	91
QUADRO 10 – ENTIDADES DO SISTEMA MODELADO QUE REPRESENTAM RECURSOS TRANSFORMADOS	100
QUADRO 11 - ENTIDADES DO SISTEMA MODELADO QUE REPRESENTAM RECURSOS DE TRANSFORMAÇÃO	101
QUADRO 12 – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DO SISTEMA MODELADO	102
QUADRO 13 – ENTIDADES DO MODELO COMPUTACIONAL	106
QUADRO 14 – RECURSOS DO MODELO COMPUTACIONAL	107
QUADRO 15 – ATIVIDADES DO MODELO COMPUTACIONAL	108
QUADRO 16 – EXPERIMENTOS PARA VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL ..	112
QUADRO 17 – PARAMETRIZAÇÃO DAS ENTIDADES DO MODELO DO AMBIENTE TOTALMENTE EMPURRADO	115
QUADRO 18 – PARAMETRIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO MODELO DO AMBIENTE TOTALMENTE EMPURRADO	116
QUADRO 19 – PARAMETRIZAÇÃO DAS ENTIDADES DO MODELO DO AMBIENTE TOTALMENTE PUXADO	118

QUADRO 20 – PARAMETRIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO MODELO DO AMBIENTE TOTALMENTE PUXADO	119
QUADRO 21 – PARAMETRIZAÇÃO DAS ENTIDADES DO MODELO DO AMBIENTE HÍBRIDO.....	122
QUADRO 22 – PARAMETRIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO MODELO DO AMBIENTE HÍBRIDO.....	123
QUADRO 23 – INDICADORES DE DESEMPENHO PARA OS AMBIENTES DE PRODUÇÃO	127
QUADRO 24 – DEMANDAS PREVISTAS E CONFIRMADAS NO CENÁRIO 1	129
QUADRO 25 – RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1.....	130
QUADRO 26 – DEMANDAS PREVISTAS E CONFIRMADAS NO CENÁRIO 2.....	131
QUADRO 27 – RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2	132
QUADRO 28 – DEMANDAS PREVISTAS E CONFIRMADAS NO CENÁRIO 3.....	133
QUADRO 29 – RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3	134
QUADRO 30 – INDICAÇÃO DE MELHOR DESEMPENHO DOS MODELOS PARA OS TRÊS PRODUTOS E PARA A SOMA DOS PRODUTOS PARA O ESTOQUE DE PRODUTOS ACABADOS	138
QUADRO 31 – INDICAÇÃO DE MELHOR DESEMPENHO DOS MODELOS PARA OS TRÊS PRODUTOS E PARA A SOMA DOS PRODUTOS PARA O SALDO DE PRODUTOS ACABADOS	141
QUADRO 32 – INDICAÇÃO DE MELHOR DESEMPENHO DOS MODELOS PARA OS TRÊS PRODUTOS E PARA A SOMA DOS PRODUTOS PARA O WIP.....	143
QUADRO 33 – INDICAÇÃO DE MELHOR DESEMPENHO DOS MODELOS PARA OS TRÊS PRODUTOS E PARA A SOMA DOS PRODUTOS PARA O TEMPO DE CICLO	146

LISTA DE SIGLAS

ABIGRAF – Agência Brasileira de Indústria Gráfica
ACD – *Activity Cycle Diagram* (Diagrama de ciclo de vida)
APA – Agência Portuguesa do Ambiente
ANSI – *American National Standards Institute*
ATO – *Assembly to order* (Montagem sob pedido)
CONWIP – *Constant Work in Process* (Material em processo constante)
CT – *Cycle Time* (Tempo de Ciclo)
EMP – Estoque de matéria prima
EPA – Estoque de produto acabado
ERP – *Enterprise Resources Planning* (Planejamento de Recursos Empresariais)
FIFO – *First in First Out* (Primeiro que entra, primeiro que sai)
GPSS – *General Purpose Simulation System*
JIT – *Just in Time*
LT – *Lead Time*
MRP – *Material Requirements Planning* (Planejamento das Necessidades de Materiais)
MRP II – *Manufacturing Resources Planning* (Planejamento dos Recursos de Manufatura)
MTO – *Make to stock* (Feito para estocar)
NA – Nível de Atendimento
NB – Número de *backorders* (pedidos rejeitados)
PCP – Planejamento e controle da produção
STP – Sistema Toyota de Produção
TAF – Tempo médio entre falhas
TCh – Taxa de chegada
TEP – Taxa efetiva de produção
TxC – Tempo entre chegada de ordens
TH – *Throughout* (Taxa de saída de produtos)
TR – Tempo médio de reparo
TS – Tempo médio de setup
TRF – Troca Rápida de Ferramentas
U – Utilização

URG – Taxa de utilização do recurso gargalo

VP – Volume de Produção

WIP – *Work in Process* (Material em processo)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	20
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	21
1.2.1 Contribuição acadêmica	22
1.2.2 Contribuição para Engenharia de Produção	22
1.2.3 Contribuição para indústria.....	23
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo geral.....	24
1.3.2 Objetivos específicos.....	24
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	25
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2 REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	27
2.2 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	33
2.2.1 Sistemas MRP e programação empurrada	33
2.2.2 Produção enxuta, <i>Kanban</i> e programação puxada	37
2.2.3 CONWIP e programação híbrida	43
2.2.4 Comparações entre programação empurrada, puxada e híbrida	45
2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	49
2.3.1 Medidas relacionadas aos níveis de materiais	52
2.3.2 Medidas relacionadas ao nível de atendimento à demanda	53
2.3.3 Medidas relacionadas aos tempos produtivos	54
2.3.4 Medidas relacionadas à capacidade produtiva	55
2.4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	57
2.4.1 Terminologia em modelagem e simulação	60
2.4.2 Metodologia de modelagem e simulação	61
2.4.2.1 Etapa de concepção	62
2.4.2.2 Etapa de implementação	64
2.4.2.3 Etapa de análise	68

2.4.3 Softwares de simulação	69
3 MÉTODO DE PESQUISA	72
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	72
3.2 PROCEDIMENTOS	73
3.2.1 Definição da estrutura conceitual da pesquisa	75
3.2.2 Planejamento do caso	75
3.2.3 Coleta e análise dos dados do caso	76
3.2.4 Modelagem e simulação	76
3.2.5 Documentação dos resultados	77
3.3 INSTRUMENTOS E FERRAMENTAS	77
4 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA EM ESTUDO	79
4.1 O SETOR DA INDÚSTRIA GRÁFICA	79
4.2 PROCESSOS PRODUTIVOS DA INDÚSTRIA GRÁFICA	81
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA GRÁFICA EM ESTUDO	83
4.3.1 A unidade produtiva	84
4.3.2 Instalações produtivas do parque gráfico	86
4.3.3 Fluxo do processo produtivo	91
5 MODELAGEM E SIMULAÇÃO	95
5.1 MODELAGEM CONCEITUAL	95
5.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL	105
5.2.1 Entidades e pontos de entrada e saída	105
5.2.2 Recursos de transformação	107
5.2.3 Atividades produtivas	108
5.2.4 Configuração do relógio de simulação e número de replicações	109
5.2.5 Modelo computacional proposto	110
5.2.6 Verificação e validação do modelo computacional	110
5.3 MODELAGEM OPERACIONAL: GERAÇÃO DE CENÁRIOS	113
5.3.1 Ambiente totalmente empurrado	114
5.3.2 Ambiente totalmente puxado	117

5.3.3 Ambiente híbrido baseado em CONWIP	121
5.3.4 Verificação e validação dos modelos	125
5.3.5 Cenários propostos	125
5.3.6 Indicadores de desempenho propostos	126
6 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	129
6.1 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO CENÁRIO 1: ESTADO INICIAL	129
6.2 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO CENÁRIO 2: AUMENTO NA DEMANDA	131
6.3 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO CENÁRIO 3: REDUÇÃO NA DEMANDA	133
6.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS	135
6.4.1 Estoques médios de PA na saída do sistema	135
6.4.2 Saldo de PA não vendidos e atendimento à demanda	138
6.4.3 Estoque de material em processo - WIP	142
6.4.4 Tempo de ciclo	143
6.4.5 Resultados gerais de desempenho	146
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	148
REFERÊNCIAS	151
APÊNDICES	156

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de gestão da produção passaram por uma reestruturação, segundo Wolmack *et al.* (1992), no período após a Segunda Guerra Mundial, quando o modelo de produção em massa desenvolvido por Henry Ford foi substituído por um novo conceito, visando a reconstrução econômica dos países. Surgiu então o Sistema Toyota de Produção com objetivos de aumentar a eficiência e reduzir desperdícios, propiciando a redução dos custos.

Entre os anos de 1957 e 2002 houveram mudanças organizacionais, não apenas relacionadas ao desenvolvimento tecnológico, que possibilitou melhor planejamento e controle das operações, mas também surgiram novas filosofias, conceitos e métodos de gestão, os quais se transformaram em fontes de vantagens competitivas para as empresas (CLETO, 2002).

Desde o período pós guerra as empresas vêm buscando mudanças gerenciais e operacionais, voltadas ao planejamento e controle da produção, em seus processos produtivos devido à crescente competitividade, redução do ciclo de vida dos produtos e flexibilidade de customização para os clientes (GOULART 2000, WIENDAHL e HÖBIG, 1998).

Missbauer e Uzsoy (2010), afirmaram que o problema de planejamento e controle da produção é delineado pela necessidade de atendimento da demanda por parte da produção, alocando os recursos produtivos da forma mais eficiente possível, em termos de utilização da capacidade, disponibilidade de matéria prima e *mix* de produtos.

Tubino (2009) descreveu o planejamento e controle da produção em três níveis de implementação: planejamento estratégico a longo prazo, planejamento mestre da produção a médio prazo e programação da produção a curto prazo. A programação da produção pode ser empurrada, puxada ou uma combinação das duas, que forma um modelo híbrido.

A programação empurrada da produção, segundo Gstettner e Kuhn (1996) é baseada em previsões de demanda, a partir das quais são planejadas e disparadas as ordens de produção, através de sistemas MRP (*Materials*

Requirements Planning) e MRP II (*Manufacturing Resources Planning*), que permitem o gerenciamento dos fluxos de materiais e dos recursos produtivos.

A previsão da demanda, segundo Moreira (2008, p. 293) “é um processo racional de busca de informações acerca do valor das vendas futuras de um item ou de um conjunto de itens”. Erros de previsão de demanda podem gerar ao menos duas situações prejudiciais para a empresa. Na primeira situação pode-se concretizar uma demanda maior que a prevista e, neste caso, a empresa irá entregar menos produtos que os solicitados pelos clientes, podendo perder credibilidade ou operar em capacidade máxima na tentativa de atender a demanda. A segunda situação ocorre quando a demanda confirmada é menor que a prevista, levando à formação de estoques de produtos acabados que, segundo apresentado por Liker (2005), representa um dos sete tipos de perda sem agregação de valor, o da superprodução, levando ao desperdício que aumenta custos produtivos.

Lemos (1999) apresenta algumas desvantagens em utilizar programação empurrada, tais como a dificuldade em modificar o planejamento da produção quando ocorrem variações na demanda; dificuldade em controlar o índice de produção e nível de estoque em tempo real gerando a necessidade de estoque de segurança em excesso; e complicações ao estabelecer um plano ótimo de produção baseado em tamanho de lote e tempo de processamento. Tais problemas podem ser resolvidos ao utilizar a programação puxada da produção, segundo a autora.

A programação puxada, segundo Liker (2008), é a base da manufatura enxuta, na qual o produto flui através dos processos que agregam valor partindo do pedido do cliente, reabastecendo apenas o que a operação seguinte for consumir.

Na produção puxada, segundo Lemos (1999), os materiais em processo existem na forma de estoques intermediários, os quais serão repostos apenas quando retirados da estação e material que está sendo manufaturado. Quanto menor a quantidade de estoque de material em processo, menor o custo de produção e maior a rentabilidade, conforme coloca a autora. Entretanto, é necessário estabelecer a quantidade de estoque mínima que irá garantir

atendimento à demanda, considerando pequenas variações de tempo entre as ordens de fabricação, conforme a variação da demanda.

Diante da eficiência observada na produção puxada frente à produção empurrada, ela se tornou objeto de estudos e pesquisas, visando aprimorar o método e facilitar a programação da produção no sentido de diminuir o tempo de entrega dos produtos, já que neste ambiente a empresa passa a não contar com estoques que possam suprir eventuais variações de demanda.

Embora a programação puxada tenha sido bastante reconhecida por muitos autores devido a sua eficiência, Spearman *et al.* (1990), apresentaram um conceito de programação da produção que combina as abordagens empurrada e puxada em um sistema híbrido, conhecido como *Constant Work In Process* (CONWIP). O CONWIP é um sistema de programação da produção, baseado em cartões que disparam a produção no início do processo a partir de um pedido do cliente. Os autores sugeriram, através de simulação, que o sistema CONWIP é mais eficiente que a programação puxada em termos das quantidades de estoque em processo, uma vez que o material em processo se mantém constante ao longo do fluxo produtivo.

Este trabalho propõe uma análise de um ambiente de produção de uma indústria gráfica, que combina as abordagens puxada, empurrada e híbrida, em diferentes cenários, através de modelagem computacional e simulação. O objetivo da análise é comparar os ambientes puxado, empurrado e híbrido avaliando os indicadores de desempenho relacionados aos tempos de produção, níveis de materiais em processo e produtos acabados e atendimento à demanda.

Para execução deste trabalho foi escolhida a simulação em um modelo computacional, pois, segundo Shwif e Medina (2015), permite analisar diferentes cenários e entender as relações entre variáveis sem interferir no sistema real a título de averiguações, o que poderia ser oneroso e inviável na prática.

1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A programação puxada tem se mostrado mais eficiente quando comparada à programação empurrada pois minimiza estoques de matérias

primas, de produtos acabados e componentes entre processos produtivos, além de contribuir com sistemas de produção enxuta que visam eliminar desperdícios e diminuir os tempos de entregas de produtos.

Entretanto, segundo Hopp e Spearman (2013), na prática fabril a maioria dos sistemas são híbridos, combinando a programação puxada e empurrada visando obter as vantagens associadas a cada sistema individual de forma conjunta.

Diante deste contexto, surge o questionamento que norteia esta pesquisa: qual seria o desempenho, em termos de tempos de produção e níveis de materiais em processo e produtos acabados, da gestão adotada em um sistema produtivo de uma indústria gráfica que utiliza abordagens combinadas da produção, frente aos modelos teóricos de programação puxada, empurrada ou híbrida?

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Lustosa *et al.* (2008) afirmam que o posicionamento estratégico da empresa assume importância em sua capacidade de competir local ou globalmente. Segundo os autores, fatores internos e externos devem garantir o sucesso das empresas, dentre os quais, muitos estão diretamente relacionados ao planejamento da produção. Como exemplo de fatores relacionados ao planejamento da produção os autores citam a disponibilidade de recursos, custos operacionais, capacidade produtiva, entre outros.

Lemos (1999) evidencia uma mudança no ambiente de manufatura, caracterizada pelo aumento de diversidade de produtos, redução no ciclo de vida de produtos, preocupação e conhecimento acerca do impacto ambiental dos sistemas produtivos, alterações e dificuldade em estimação de custos e expectativa social diferenciada. Como consequência destas mudanças as empresas passam a ter o planejamento e controle da produção como forma de manterem-se competitivas, promovendo respostas rápidas ao mercado, flexibilidade nos processos, agilidade no desenvolvimento de produtos, avaliação e melhorias contínuas no desempenho. Neste contexto a manufatura

enxuta entra como elemento fundamental para garantir a competitividade da empresa.

Diante da importância do planejamento da produção como fonte de economia para as empresas, pode-se esperar que métodos e modelos que venham a contribuir para estudos e representatividade acerca dos problemas de planejamento da produção através de sistemas de programação puxada, empurrada e híbrida, sejam de grande valia para o meio acadêmico e industrial. Portanto, este trabalho pretende contribuir para a área acadêmica, para a Engenharia de Produção e também para as práticas industriais, conforme será detalhado nas próximas sessões.

1.2.1 Contribuição acadêmica

Pode-se atribuir a este trabalho uma contribuição para o meio acadêmico visto que pretende criar um modelo de simulação, baseado em uma abordagem híbrida combinando programação puxada e empurrada em uma indústria do setor gráfico, o qual pode-se considerar inovador.

Considera-se ainda que, pelo caráter inovador, este trabalho poderá resultar na identificação de lacunas que poderão servir de base para estudos futuros.

Na literatura nacional existem poucas publicações referenciando a programação da produção em ambiente híbrido, puxado e empurrado, evidenciando que este trabalho poderá contribuir também para literatura nacional como fonte de informações e definições metodológicas importantes.

1.2.2 Contribuição para Engenharia de Produção

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção o engenheiro de produção deverá possuir competência para utilizar ferramental matemático e estatístico para modelar sistemas de produção e auxiliar na

tomada de decisões, além de possuir habilidades para identificar, modelar e resolver problemas (ABEPRO, 2008).

Na Engenharia de Produção, segundo a ABEPRO (2008), o planejamento da produção pode ser enquadrado na grande área 1. Engenharia de Operações e Processos da Produção, mais especificamente, na sub área 1.2. Planejamento, Planejamento e Controle da Produção.

Este trabalho pretende contribuir para Engenharia de Produção com pesquisa, estudo e desenvolvimento de um modelo de simulação que poderá auxiliar as práticas de planejamento da produção através da programação da produção híbrida.

1.2.3 Contribuição para indústria

Diante das mudanças observadas no ambiente de manufatura e aumento da competitividade as empresas passam a buscar apoio no planejamento e controle da produção como forma de aumentar a eficiência de suas atividades.

O planejamento da produção é necessário nas práticas industriais, nos níveis estratégico, tático e operacional. Em todos os níveis, o planejamento requer informações e deve auxiliar a tomada de decisões da empresa sobre capacidade produtiva, suprimento e alocação de recursos produtivos e programação diária da produção, conforme elucida Tubino (2009).

A simulação computacional pode ser utilizada para descrever o comportamento dos sistemas de manufatura, provendo informações sobre os mesmos que facilitarão os processos de melhoria do planejamento e controle da produção em diferentes níveis de aplicação. Modelos de simulação também possibilitam analisar cenários e entender relações entre variáveis sem interferência no sistema real (CHWIF, MEDINA, 2015).

Portanto este trabalho irá contribuir para a indústria gráfica com informações e ferramentas que poderão ser úteis para as práticas de gestão da produção auxiliando o planejamento da produção, bem como a tomada de decisões sobre a programação da produção.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho possui um objetivo geral que propõe a solução do problema de pesquisa e seu desdobramento em objetivos específicos que irão suportar e auxiliar seu desenvolvimento.

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho da programação da produção puxada, empurrada e híbrida com o de um ambiente de produção específico da indústria gráfica através de simulação computacional.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Realizar a modelagem conceitual de um sistema de produção real da indústria gráfica através de um estudo de caso;
- b) Desenvolver um modelo de simulação, utilizando o software SIMUL8®, representando o sistema do modelo conceitual;
- c) Validar a representatividade do modelo de simulação frente ao sistema real;
- d) Desenvolver os modelos em ambiente empurrado, puxado e híbrido;
- e) Definir as variáveis de decisão e os indicadores de desempenho do modelo de simulação;
- f) Simular diferentes cenários de programação da produção;
- g) Analisar os cenários de simulação frente às variáveis de decisão, comparando os resultados dos indicadores de desempenho nos diferentes ambientes.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Para a realização deste trabalho foram estabelecidas algumas restrições que delimitaram o escopo da pesquisa:

- I. O Software SIMUL8® foi escolhido para desenvolver o modelo de simulação computacional, dentre outros softwares existentes no mercado, por conter as ferramentas necessárias para modelagem do sistema de produção estudado, além de estar disponível em versão estudantil gratuita para pesquisa na Universidade Federal do Paraná.
- II. Para simulação foi considerada uma simplificação do sistema real estudado visando analisar indicadores de desempenho atrelados ao objetivo da pesquisa. Processos e recursos não envolvidos com o objetivo da pesquisa, constantes no sistema real, não serão modelados. No capítulo 5 são detalhadas as características do sistema real consideradas no modelo conceitual.
- III. O modelo de simulação proposto representa um sistema em linha de produção repetitiva em lotes (*flow shop*), ambiente misto com produção para estoque (*make-to-stock*) e montagem sob pedido do cliente (*assembly-to-order*).
- IV. A natureza dos produtos é predominantemente de bens de consumo e a variedade do *mix* de produção é alta. Parte dos produtos são padronizados e parte customizados de acordo com as necessidades específicas dos clientes. Buscando uma simplificação, para simulação foram considerados os três principais tipos de produtos, sendo dois deles padronizados e um personalizado, num total de 3 produtos no *mix* de produção.
- V. O trabalho limita-se à análise de uma indústria no setor gráfico, ficando os resultados obtidos replicáveis apenas para um ambiente produtivo similar ao estudado e na mesma amplitude de capacidade produtiva.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 7 capítulos, descritos a seguir. O primeiro capítulo apresenta uma contextualização ao tema abordado, a justificativa que deu origem ao trabalho, os objetivos geral e específicos da pesquisa e a delimitação do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica que possibilita identificar o estado da arte do tema abordado e principais lacunas de pesquisa.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia de pesquisa e sua classificação quanto à abordagem, natureza, objetivos e procedimentos.

O quarto capítulo aborda a indústria gráfica, mapeando as principais características funcionais dos sistemas produtivos do setor, através de revisão bibliográfica. Apresenta também a descrição do sistema produtivo da empresa em estudo.

O quinto capítulo apresenta a modelagem conceitual, o modelo de simulação computacional proposto e os cenários gerados para análise.

O sexto capítulo apresenta a simulação e análise dos resultados obtidos nos diferentes cenários simulados.

O sétimo capítulo traz as considerações finais do trabalho mapeando a verificação do cumprimento dos objetivos propostos e apontando direcionamentos para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico irá abordar os principais conceitos e definições acerca do tema de pesquisa facilitando o entendimento do problema e possibilitando nortear o desenvolvimento das soluções.

Será apresentada uma revisão de trabalhos, livros e artigos escritos sobre o tema de pesquisa, que permite, verificar o estado do problema a ser pesquisado, sob o aspecto teórico e de outros estudos e pesquisas já realizados (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Inicialmente será abordado o planejamento e controle da produção, que proporciona entendimento sobre as práticas de gestão da produção nos níveis estratégico, tático e operacional, com maior detalhamento deste último, que contempla a programação da produção, foco de análise deste trabalho. Também será abordada a avaliação de desempenho de sistemas, evidenciando a importância da análise pretendida no trabalho. Finalmente, serão descritas a modelagem e simulação computacional, que são os métodos e ferramentas através dos quais o presente trabalho será realizado.

2.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Vollmann *et al.* (2006) afirmaram que o crescimento da demanda e do suprimento de mercados nacionais e internacionais, ocasionado pela intensificação da globalização, fez com que o planejamento e o controle da produção se transformassem em necessidades fundamentais para empresas que buscam expandir suas demandas e fontes de fornecedores. Segundo os autores, para que as empresas se mantenham competitivas, um bom planejamento e controle da produção é imprescindível, visando maximizar a utilização dos recursos produtivos e minimizar os custos de produção. Dessa forma, os autores afirmam que o planejamento e controle da produção eficaz é fundamental para o sucesso de qualquer empresa (VOLLMANN *et al.*, 2006).

Segundo Lustosa *et al.* (2008) o planejamento e controle das atividades produtivas de uma empresa se torna cada vez mais necessário à medida que o

desenvolvimento industrial se desencadeia, possibilitando que as empresas se mantenham competitivas no mercado que exige cada vez mais qualidade, cumprimento de prazos e organização. Os autores afirmam que o crescimento rápido e a falta de planejamento podem gerar problemas organizacionais como gargalos da produção, atrasos na entrega para os clientes e dimensionamento inadequado das instalações.

Daft (2006) aborda que o planejamento possibilita estabelecer as metas empresariais e definir as atividades e recursos para que se cumpram tais metas. O autor afirma que para organizar as atividades é necessário designar pessoal e recursos produtivos e que os gestores eficazes motivam seus funcionários para garantir comprometimento com o planejamento estabelecido visando cumprimento das metas. Além disso devem ser implementadas ações de monitoração das atividades e aplicação de correções quando necessárias, garantindo o controle da execução do planejamento.

Neste contexto entende-se que o planejamento e o controle da produção são operações vitais para as empresas e permitem que elas se mantenham em constante crescimento frente a competitividade global.

Tubino (2009) afirma que a transformação de insumos em produtos, exige que o sistema produtivo considere prazos, em que planos são feitos e quais ações são disparadas com base nestes planos para realizar os eventos planejados dentro dos prazos estabelecidos. O autor define três níveis de planejamento da produção:

- a) O primeiro nível, a longo prazo, denominado planejamento estratégico, tem como objetivo traçar a necessidade do sistema produtivo em termos de capacidade para atender a previsão da demanda em um horizonte de tempo determinado;
- b) O segundo nível, a médio prazo, denominado plano mestre da produção, pretende definir táticas para utilização da capacidade instalada da forma mais eficiente possível, visando economia de recursos e atendimento às previsões de venda e/ou pedidos consolidados pelo cliente;

- c) No terceiro nível, a curto prazo, pretende-se executar a programação da produção, normalmente diária, produzindo bens e serviços e entregando-os aos clientes finais.

Slack *et al.* (2007) definem o planejamento e controle da produção como o gerenciamento das atividades das operações produtivas buscando atendimento contínuo à demanda dos consumidores. Os autores diferenciam planejamento de controle, explicitando que, enquanto o planejamento pretende formalizar uma intenção de produção baseada em expectativas em relação à demanda e disponibilidade de recursos, o controle promove ações que visam o direcionamento do plano, monitorando os acontecimentos reais e realizando ações no sistema caso mudanças sejam necessárias para intermediar ocorrências não previstas.

Segundo Vollmann *et al.* (2006) o planejamento e controle da produção tem como tarefa principal gerenciar de forma eficiente o fluxo de material, a utilização de pessoas, e equipamentos respondendo às necessidades dos clientes, utilizando e gerenciando a capacidade produtiva. Os autores salientam a importância da troca de informações entre fornecedor e cliente, garantindo que as necessidades dos clientes sejam atendidas e que estes sejam constantemente informados sobre datas de entrega e situação do produto. Além disso os autores afirmam que o planejamento e controle da produção não toma decisões estratégicas, mas sim fornece informações e suporte que irão auxiliar a tomada de decisão.

O planejamento da produção deverá orientar as ações necessárias para atender metas estabelecidas no nível estratégico e o controle deverá monitorar as atividades e definir ações corretivas ou de melhorias quando necessárias. As metas devem preocupar-se com atendimento às necessidades dos clientes em termos de qualidade, quantidades, prazos e garantir a alocação de recursos produtivos, bem como políticas de novos investimentos, dimensionamento da capacidade e escolhas de localização. Cada atividade deverá ser executada em um nível diferente e a troca de informações entre os diferentes níveis e o ambiente externo, fornecedores e clientes, deverá ser constante.

O diagrama proposto na Figura 1 ilustra a dinâmica do planejamento e controle da produção dentro de uma organização. Destacam-se três níveis de planejamento: a longo, médio e curto prazo.

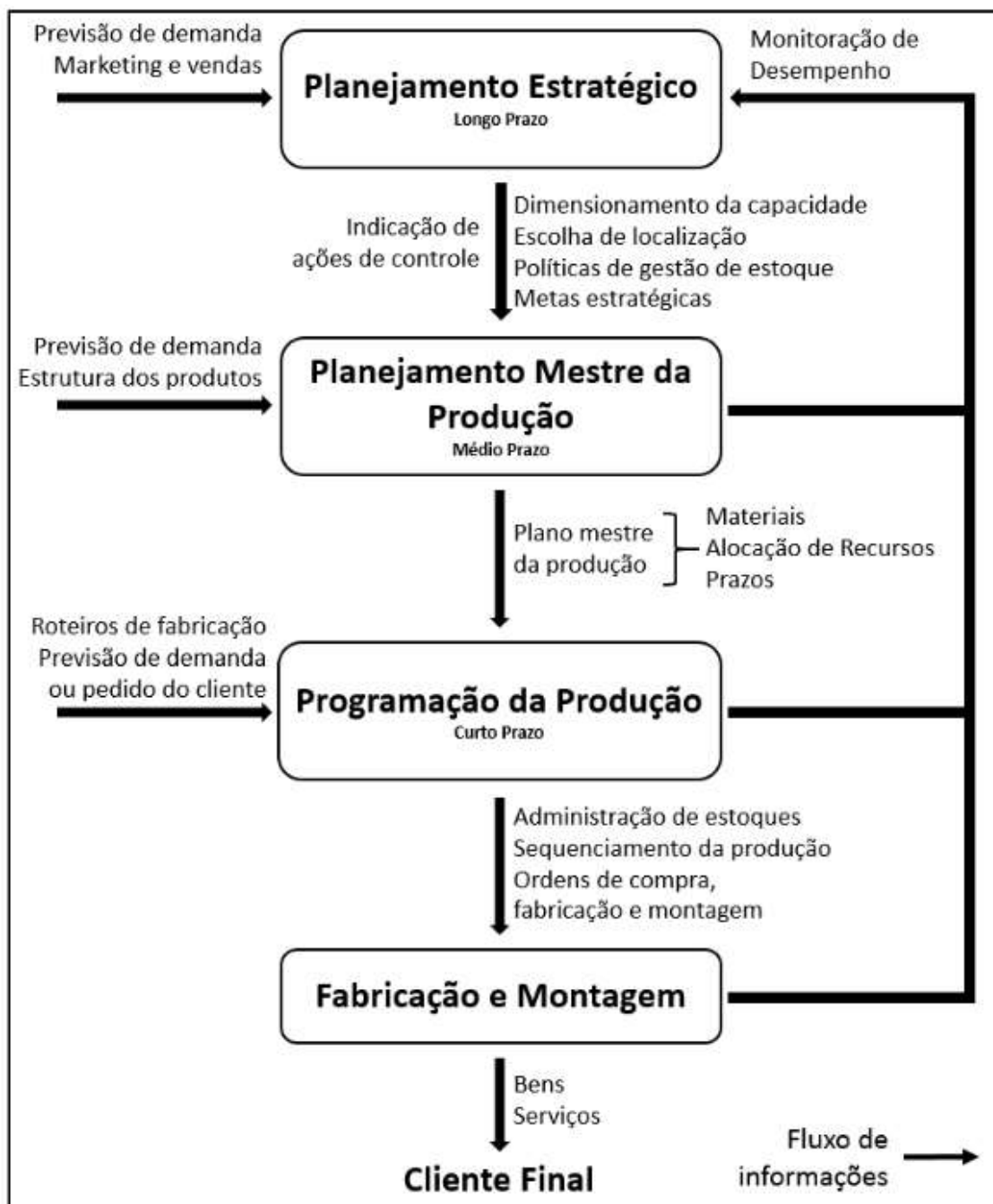


FIGURA 1: DINÂMICA DO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.

FONTE: A autora, adaptado de Tubino (2009) e Vollmann *et al.* (2006).

O Planejamento Estratégico, a longo prazo, deverá, a partir de previsões de demanda e informações dos departamentos de marketing e vendas, definir

as ações de controle da produção e as metas estratégicas da empresa que irão resultar no dimensionamento da capacidade e escolha da localização produtiva, quando da implantação de uma nova unidade. Cabe ainda gerar políticas de gestão de estoque inicial, intermediário e de produtos acabados.

O Planejamento Mestre da Produção, a médio prazo, com base na previsão de demanda e na estrutura dos produtos deverá alocar da melhor forma possível a capacidade instalada para, através do Plano Mestre da Produção, informar os materiais e recursos necessários à produção beneficiando o cumprimento dos prazos estipulados de acordo com os pedidos dos clientes.

A programação da produção, a curto prazo, deverá utilizar os roteiros de fabricação, materiais, prazos e recursos já alocados, para gerar ordens de compra, fabricação e montagem gerenciando os estoques e respeitando as políticas estabelecidas no planejamento estratégico.

A programação da produção poderá ser disparada por pedido do cliente, na produção puxada ou por previsão de demanda, na produção empurrada. A partir das ordens emitidas pela programação da produção serão executados fabricação e montagem em chão de fábrica, proporcionando bens e serviços aos clientes finais.

Megginson *et al.* (1986) definiram o planejamento como “o desenvolvimento de um programa para realização de objetivos e metas organizacionais, envolvendo a escolha de um curso de ação, a decisão antecipada do que deve ser feito, a determinação de quando e como a ação deve ser realizada” (MEGGINSON, 1986). O autor indica que com essa estrutura o planejamento provê a base para a ação que deverá ainda ser monitorada para antecipar-se à mudanças que poderiam afetar as metas organizacionais controlando o sistema. Assim evidencia-se a diferença entre planejamento e controle. Enquanto o planejamento indica as atividades a serem executadas para atingir metas, o controle monitora e determina ações corretivas e melhorias quando necessárias.

Monks (1987) definiu o planejamento de processos como a “execução de um sistema de trabalho para produzir, nas épocas adequadas, dentro de custos aceitáveis, os produtos desejados nas quantidades exigidas” (MONKS, 1987). O

autor afirma que a essência da operação produtiva é a transformação de recursos em bens e serviços com valor agregado.

Stoner e Freeman (1995) apontam dois aspectos básicos do planejamento: o primeiro diz respeito aos objetivos estratégicos da empresa, enquanto o segundo formula os meios para alcançar tais objetivos.

Moreira (2008) afirma que o planejamento provê recursos para execução de todas as atividades da organização visando satisfazer objetivos específicos, além de determinar o momento exato em que devem ocorrer. O autor classifica o planejamento em três níveis, de acordo com a abrangência que terão dentro da empresa, análogos aos apresentados por Tubino (2009), como segue:

- a) O nível estratégico contempla tomadas de decisão amplas em escopo, envolvendo as políticas organizacionais, decisões de localização, projeto de processos de manufatura, todas elas em um horizonte a longo prazo.
- b) O nível tático envolve alocação e utilização de recursos a médio prazo.
- c) O nível operacional ocorre em atividades no chão de fábrica, onde são realizadas tarefas de rotina como programação da produção e controle de estoque.

Kotler e Armstrong (1993) apontam alguns benefícios que o planejamento pode trazer para as organizações, alguns dos quais são descritos a seguir:

- a) Pensamento sistêmico no futuro;
- b) Facilidade em estabelecer objetivos, metas e políticas organizacionais;
- c) Maior integração entre os gestores e executivos da organização;
- d) Melhor utilização dos recursos e aplicação das atividades visando alcançar objetivos estratégicos;
- e) Promoção de métodos de avaliação de desempenho que possibilitem identificar a necessidade de ações corretivas e melhorias.

Dentro do planejamento e controle da produção, entende-se como planejamento as ações adotadas no sentido de estabelecer os objetivos

estratégicos da empresa e promover todos os recursos necessários para adequar a produção ao atendimento de tais objetivos. O planejamento estratégico deverá trabalhar com previsão de demanda para estabelecer a capacidade produtiva da empresa. Entretanto, a programação da produção poderá seguir duas abordagens: empurrada ou puxada.

2.2 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Enquanto na programação empurrada da produção a previsão da demanda e o controle do estoque remanescente irão determinar o início da produção e as ordens de compra de materiais, na programação puxada, a colocação de pedidos por parte dos clientes irá disparar a produção e pedidos de compras de materiais.

Existem ainda sistemas de produção híbridos que combinam as abordagens empurrada e puxada, como o sistema CONWIP, visando agregar as vantagens operacionais de cada sistema individual, os quais ocorrem frequentemente na indústria, segundo Hopp e Spearman (2013).

Neste trabalho o termo ambiente de produção será empregado para tratar o sistema produtivo que adota uma programação da produção empurrada, puxada ou híbrida. Nas próximas seções serão detalhadas as características dos sistemas de produção empurrado, puxado e híbrido.

2.2.1 Sistemas MRP e programação empurrada

Os sistemas de produção cuja programação é empurrada podem ser caracterizados, segundo Gstettner e Kuhn (1996), por planejamentos e ordens de produção baseados em previsões da demanda futura. Para auxiliar a programação da produção empurrada existem sistemas de planejamento e controle da produção como o MRP, *Material Requirements Planning*, o MRP II, *Manufacturing Resources Planning* e o ERP, *Enterprise Resources Planning*.

Moreira (2008) define o MRP, ou seja, Planejamento das Necessidades de Materiais, como “uma técnica para converter a previsão da demanda de um item de demanda independente em uma programação das necessidades das partes componentes do item” (MOREIRA, 2008). O autor apresenta a demanda independente como sendo aquela que depende apenas das forças de mercado.

O MRP, segundo Filho e Fernandes (2006), permite determinar quais e quantos itens devem ser comprados ou produzidos de acordo com a decisão da produção que é baseada na previsão da demanda. Estes itens podem ser matérias primas, componentes, sub-montagens e produtos semiacabados.

Conforme apresenta Moreira (2008) no sistema MRP, a partir da data e quantidade necessárias para entrega de produto final, é realizada uma decomposição do produto em suas partes, facilitando o gerenciamento de estoques e compras de seus componentes, visando providenciar material necessário para produção. A essa decomposição do produto em partes o autor chama de “explosão”. Além de gerenciamento dos componentes necessários para produzir um determinado produto, o MRP realiza o controle de estoques de matéria prima e subitens, promovendo sua reposição periodicamente ou a partir de quantidade remanescente indicada por supervisão contínua.

O diagrama apresentado na Figura 2 mostra as operações do MRP e como ele interage com o planejamento e controle da produção. O planejamento mestre da produção irá informar a previsão de demanda e a lista de materiais para o sistema MRP que irá gerar a programação da produção e realizar o controle de estoque a curto prazo.



FIGURA 2: OPERAÇÕES FUNDAMENTAIS DO MRP.

FONTE: A autora, adaptado de Moreira (2008).

Uma limitação do sistema MRP é sua característica de considerar apenas os materiais necessários para produção, sem processar as restrições de capacidade do sistema produtivo. Segundo Laurindo e Mesquita (2000), ao introduzir as restrições de capacidade se torna necessário realizar uma modelagem mais detalhada do sistema, incluindo os centros de produção, aos quais são inferidas capacidades relacionadas à disponibilidade de equipamentos, operários, ferramentas, entre outros. Dessa forma são acrescentados ao sistema MRP roteiros produtivos e o cadastro dos centros de produção, cada qual com sua capacidade nominal. Surge assim o MRP II, promovendo o Planejamento dos Recursos de Manufatura.

O MRP II considera, não apenas os itens a serem comprados ou produzidos, mas também as decisões de capacidade produtiva. O sistema utiliza uma lógica estruturada que prevê uma sequência hierárquica de cálculos, verificações e decisões, visando obter um plano de produção embasado na disponibilidade de materiais e de capacidade produtiva (FILHO E FERNANDES, 2006).

O diagrama da Figura 3 apresenta as operações do MRP II e como ele interage com o planejamento e controle da produção. O planejamento mestre da produção irá informar a previsão de demanda, a lista de materiais e as capacidades de cada centro produtivo para o sistema MRP II que irá gerar a programação da produção, realizar o controle de estoque e o planejamento detalhado das necessidades de capacidade.



FIGURA 3: OPERAÇÕES FUNDAMENTAIS DO MRP II.

FONTE: A autora, adaptado de Moreira (2008).

Embora os sistemas MRP e MRP II tenham apresentado melhorias ao planejamento e controle da produção, algumas limitações podem ser

evidenciadas, conforme apontam Laurindo e Mesquita (2000). Dentre elas a dificuldade de integração dos sistemas MRP e MRP II com outros sistemas da empresa e a necessidade de integrar todos os processos gerenciais, visando melhorar a comunicação entre setores.

Neste contexto surge o ERP, Planejamento de Recursos Empresariais, que, segundo Vollmann *et al.* (2006) pode ser visto segundo uma abordagem de software de apoio às decisões de planejamento e controle, ou sob a ótica de um sistema que integra programas de aplicação, finanças, produção, logística, vendas, marketing, recursos humanos e outras funções da empresa.

Na programação empurrada a produção é planejada através de sistemas MRP e MRP II que, a partir das previsões de demanda e informações de capacidade dos centros produtivos, providenciam materiais e recursos para garantir o atendimento desta demanda em termos de prazos e quantidades. O sistema ERP realiza o planejamento dos recursos organizacionais integrando os departamentos funcionais da organização.

Segundo Bonney *et al.* (1999) na produção empurrada os fluxos de materiais e de informação seguem a mesma direção, à medida que os produtos vão sendo processados, desde a compra de matéria prima até a saída de produtos acabados, conforme ilustra a Figura 4.

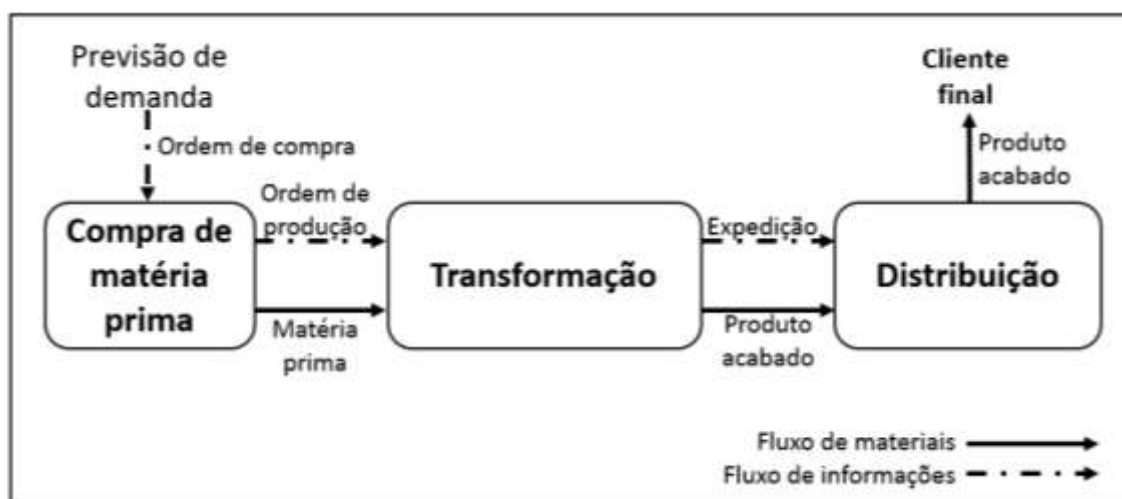


FIGURA 4: FLUXOS DE INFORMAÇÃO E PRODUÇÃO NA PROGRAMAÇÃO EMPURRADA.
FONTE: A autora.

Na programação da produção empurrada a previsão de demanda dispara a ordem de compra de matéria prima. Quando a matéria prima está disponível, uma ordem de produção dispara as atividades de transformação que vão gerar o produto acabado, que é finalmente expedido e distribuído até chegar ao cliente final.

2.2.2 Produção enxuta, *Kanban* e programação puxada

Womack *et al.* (1992) apresentaram a empresa Toyota como a “máquina que mudou o mundo” diante das circunstâncias em que desenvolveram um sistema de produção que veio a ser fonte de estudos e incorporações desde àquela época até os dias atuais. Segundo os autores, ao final das guerras mundiais na década de 40, o Japão enfrentava uma crise econômica e com a indústria não era diferente. Visando aprimorar seus métodos, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, fundadores do Sistema Toyota de Produção, contrariaram o modelo de produção em massa desenvolvida por Henry Ford, ao criar um sistema baseado na produção enxuta.

Monden (1984) definiu o Sistema Toyota de Produção (STP) como “um método racional de fabricar produtos pela completa eliminação de elementos desnecessários na produção” (MONDEN, 1984). O STP é apoiado em dois pilares: *Just in Time* e *Jidoka* (autonomação). Neste trabalho será abordado em detalhes apenas o pilar JIT, que está relacionado ao tema de pesquisa.

O pilar Jidoka (autonomação) tem como objetivo atribuir autonomia ao operador no chão de fábrica ou à própria máquina de interromper suas operações sempre que for detectada uma anomalia no processo, conforme elucida Ghinato (1995).

Liker (2008) afirma que o STP, abordagem produtiva da empresa Toyota, é a base que apoia a produção enxuta, que tem como objetivo, eliminar todo tipo de atividade que não agrega valor ao produto, as quais o autor apresenta como perdas. Os sete tipos de perdas, apontados pelo autor, são a superprodução, o tempo ocioso, o transporte desnecessário de componentes, o processamento incorreto, excesso de estoque, movimentação desnecessária de funcionários e

peças defeituosas. O autor acrescentou ainda uma oitava perda atribuída ao desperdício da criatividade dos funcionários.

Segundo Slack *et al.* (2007), o JIT visa atender a demanda instantaneamente, com qualidade perfeita e buscando eliminar os desperdícios na produção. Segundo a abordagem JIT os itens devem ser entregues na quantidade adequada, no local correto e no momento exato em que é necessário para produção ou distribuição.

Lemos (1999) elucida duas premissas básicas do JIT: a melhoria contínua, que promove melhoramentos cíclicos nos processos produtivos e a eliminação de perdas, que busca reduzir atividades que não agregam valor ao produto. Segundo a autora, tais premissas podem ser obtidas através de estratégias de redução de estoque que promovem eliminação de efeitos amortizadores. Com isso são levantadas as causas e soluções para os problemas que aparecerem no chão de fábrica, viabilizando ações preventivas, garantindo maior fluidez da produção.

Algumas ferramentas são apresentadas pela autora com intuito de elucidar como atender as premissas citadas:

- a) Organização da área de trabalho: Os postos de trabalho organizados de forma eficiente segundo a disposição de materiais e ferramentas, podem eliminar tempos gastos com processos desnecessários, representando um importante aliado ao alcance de melhorias, segundo Gottesman (1991).
- b) Redução dos tempos de setup: Técnicas de redução do tempo de setup na linha de produção podem aumentar a flexibilidade do sistema, permitindo produção de diferentes modelos na mesma linha e, ao mesmo tempo, diminuindo gastos de tempo que não agregam valor ao produto. Segundo Shingo (1996) a troca rápida de ferramentas (TRF) é a forma mais eficaz de reduzir setup.
- c) Manufatura celular: Segundo Lemos (1999) as células de manufatura promovem aumento de qualidade, taxa de saída de produtos, resposta do sistema, flexibilidade e redução de níveis de estoques.

- d) Produção puxada: Lemos (1999) afirma que no JIT a produção só ocorre se houver necessidade para tal, o que é proporcionado pela produção puxada, na qual os itens só são produzidos mediante colocação de pedido.
- e) Balanceamento da produção: O balanceamento da produção pode ser obtido, segundo Shingo (1996), padronizando processos em uma linha de produção a partir da menor ou da maior capacidade ou equilibrando quantidades de produção no nível necessário para que satisfaçam as exigências determinadas pelos pedidos, beneficiando o JIT.

Slack *et al.* (2007) descrevem os objetivos de desempenho do JIT como:

- a) Alta qualidade para garantir a confiabilidade nos fornecimentos internos facilitando o fluxo de materiais e diminuindo os estoques entre processos;
- b) Velocidade no fluxo produtivo para atender a demanda dentro dos prazos estabelecidos pelos clientes internos e externos;
- c) Confiabilidade de entrega, em termos de qualidade, tempo e garantia;
- d) Flexibilidade tanto no *mix* de produtos como no volume de produção;
- e) Redução de custos viabilizado pelos resultados dos demais objetivos de desempenho do JIT.

Vollmann *et al.* (2006) apresentaram algumas características importantes sobre a manufatura enxuta e o *Just in Time*, todas elas impactantes no planejamento e controle da produção. Entre elas, se destacam:

- a) Eliminação de lotes discretos de fabricação, em favor de metas de taxas de produção;
- b) Redução de estoques em processo;
- c) Programas de produção favorecendo o nivelamento das cargas de capacidade nos postos de trabalho;
- d) Programas mestres de produção com fabricação de todos os produtos ao mesmo tempo;
- e) Sistemas de controle visual que auxiliam a produção;

f) Relacionamento direto com fornecedores.

O diagrama da Figura 5 apresenta o planejamento e controle da produção sob os efeitos do *Just in Time*.

Na primeira etapa onde ocorre a execução efetiva do planejamento e controle da produção, que o autor chama de *back end*, o JIT influencia diretamente, provendo fluidez ao chão de fábrica e integração no setor de compras. Como benefícios ocorre a redução de material em processo, otimização dos recursos de informação e diminuição do *lead time*.

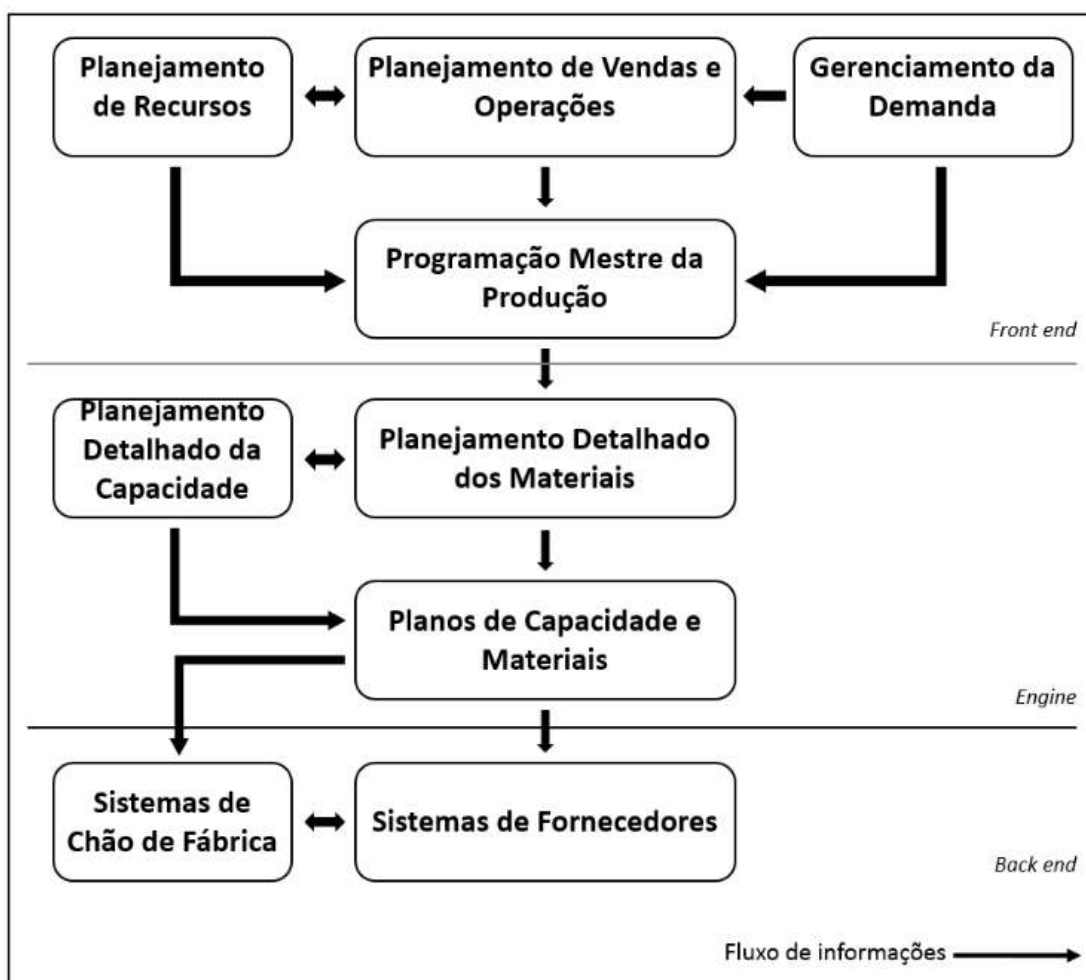


FIGURA 5: SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO E JIT.

FONTE: Vollmann *et al.* (2006).

Na etapa onde é feito o planejamento da capacidade e dos materiais, que o autor chama de *engine*, e na etapa onde ocorre o planejamento estratégico, chamada de *front end*, o JIT assume papel secundário mas também proporciona

melhorias, tais como a redução na quantidade de material planejada e, consequentemente do estoque de materiais.

Segundo Ohno (1997) o sistema *Kanban* é uma ferramenta que garante a produção segundo a abordagem JIT e soluciona problemas de fluxo e paradas de produção acarretando ganhos, tais como: diminuição do estoque em processo, redução no *lead time*, redução ou eliminação de retrabalho, otimização da utilização do espaço físico da unidade produtiva, flexibilidade e rapidez no atendimento das necessidades dos clientes internos e externos.

A programação puxada da produção é realizada na prática através de um sistema de cartões de sinalização, conhecido como sistema *Kanban*. O sistema *Kanban* é baseado em cartões de sinalização colocados pela estação de trabalho posterior, que indicam a necessidade de produção ou compra de itens, auxiliando portanto a programação puxada da produção e proporcionando fluxos de informação e materiais em sentidos opostos, conforme ilustra a Figura 6. Sua função principal é regular os níveis de estoques em processo mantendo-os baixos ou nulos, mas garantindo a continuidade da produção sem quebras ou paradas.

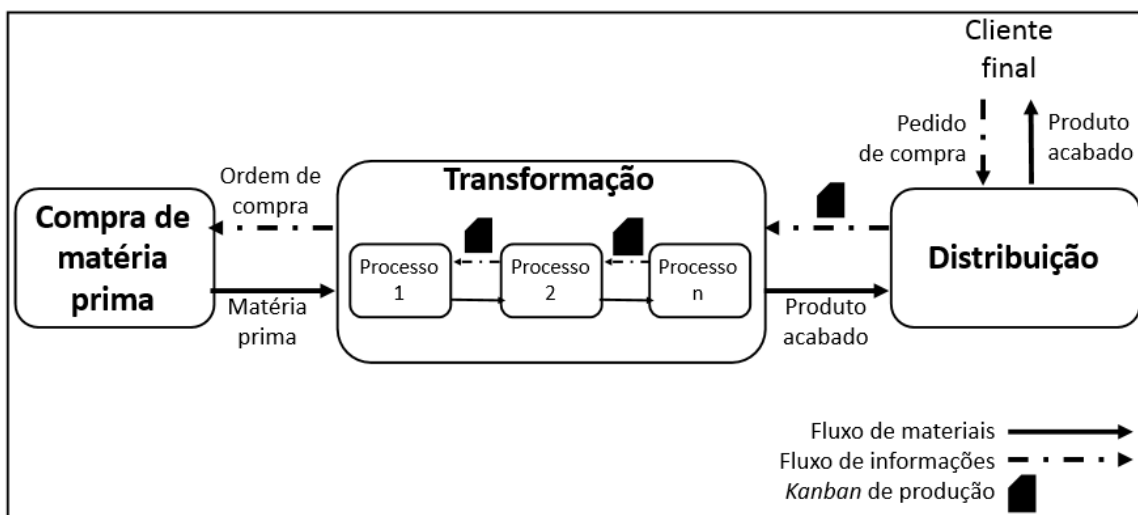


FIGURA 6: FLUXOS DE INFORMAÇÃO E PRODUÇÃO NA PROGRAMAÇÃO PUXADA.

FONTE: A autora.

Lemos (1999) cita como vantagens da utilização do sistema *Kanban* o aumento de produtividade, redução de estoques e do *lead time* de produção,

levando a empresa a responder mais rapidamente às pequenas e previsíveis variações na demanda.

Considerando que a produção enxuta tem como objetivos eliminar perdas do sistema aproveitando-se do conceito de *Just in Time* que significa, segundo Moreira (2008), produzir um item na hora certa e no lugar certo, auxiliado por ferramentas de controle, como o *Kanban*, cabe um questionamento: qual seria o momento exato para produzir?

O momento exato para produzir é justamente aquele solicitado pelo cliente, interno ou externo, que irá puxar a produção. Portanto, os sistemas produtivos com programação puxada têm sua produção iniciada pelo cliente, onde o fluxo produtivo ocorre em sentido inverso ao fluxo de informação. A compra de materiais e a produção são realizadas mediante a demanda confirmada do produto, ou seja, os itens são comprados, produzidos e ou transportados apenas no momento exato em que forem necessários para consumo e na quantidade certa a ser consumida, conforme colocam Barco e Villela (2008).

Segundo Moreira (2008), na programação puxada a última estação produtiva ou até mesmo o cliente final irá solicitar um item do processo anterior e então o pedido de produção irá ocorrer para trás ao longo do sistema, no sentido inverso do fluxo produtivo. O autor afirma que no sistema puxado cada estação de trabalho requisita da estação anterior a quantidade exata de produtos necessária para atender um pedido consolidado do cliente final. A solicitação é realizada mediante a utilização dos cartões do sistema *Kanban*. Caso não haja solicitação, o sistema não produz, o que implica em não produzir em excesso, fabricando o mínimo possível e consequentemente, com o menor custo possível. A mesma lógica deve ser utilizada na compra de matérias primas, manufatura de componentes, sub montagens e montagem final dos produtos.

Lemos (1999) apresenta cinco regras de utilização do sistema *Kanban*:

- I. O centro de trabalho só deve retirar itens de um processo anterior na quantidade e momento requeridos.
- II. Um centro de trabalho só deve produzir os itens que foram retirados do processo seguinte.

- III. Itens defeituosos não devem passar adiante na linha de produção.
- IV. O nível de estoque é ditado pelo número de *Kanbans*, logo, ao reduzir o número de *kanbans* obtém-se uma redução de estoques como consequência.
- V. O sistema *Kanban* é apropriado para sistemas cuja flutuação de demanda seja relativamente baixa e as produções repetitivas.

2.2.3 CONWIP e programação híbrida

Segundo Spearman *et al.* (1990), o sistema CONWIP foi desenvolvido ao final dos anos 80 com objetivo de estabelecer um sistema de produção híbrido, que combinasse as abordagens puxada e empurrada, com possibilidade de utilização em mais ambientes que o sistema Kanban, também baseado em cartões e cujo nível de WIP é constante ao longo da linha de produção.

Hopp e Spearman (2013) afirmam que, embora o sistema de produção puxada, cujos níveis de WIP são controlados em cada estação, seja amplamente utilizado, sua execução não é simplória na prática. Segundo os autores a forma mais simples de estabelecer o nível de WIP na linha de produção é torná-lo constante, o que é o princípio básico do sistema CONWIP (*Constant Work In Process*).

O princípio de funcionamento do sistema CONWIP, ilustrado na Figura 7, consiste em um sistema de cartões, segundo o qual um número fixo de cartões é alocado a uma linha e, quando um cartão sai do estoque de produtos acabados, ele é enviado ao início do processo produtivo. Os cartões são retirados no estoque de produtos acabados quando há pedido do cliente, ou seja, a produção se inicia mediante uma colocação de pedido. Entretanto, a ordem de produção é enviada ao início do processo e segue junto com o fluxo de materiais em produção. O cartão segue desde o primeiro posto de produção até o último, seguindo a regra FIFO (*First In First Out*), acompanhando a produção. O sistema é considerado híbrido pois o cliente puxa a produção que é iniciada por ordem de compra, mas a execução ao longo da linha é empurrada pelo cartão que

segue o fluxo produtivo desde o estoque de matérias primas até o estoque de produtos acabados (HOPP, SPEARMAN, 2013).

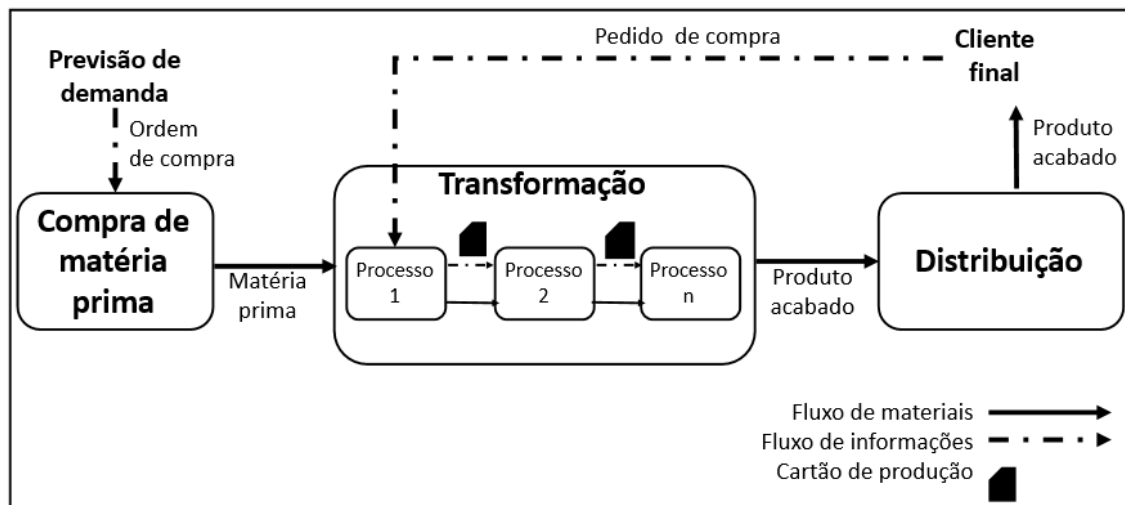


FIGURA 7: FLUXOS DE INFORMAÇÃO E PRODUÇÃO NA PROGRAMAÇÃO HÍBRIDA.

FONTE: A autora.

Para o funcionamento do sistema os autores propõe duas condições: i. A linha de produção possui roteiro único pelo qual as peças fluem; ii. Os trabalhos são iguais, logo o WIP pode ser medido em unidades de peças na linha de produção. Caso sejam vários roteiros a serem seguidos pelos produtos, será necessário estabelecer um nível de WIP para cada roteiro ou para cada trabalho padronizado. O número de cartões no sistema é fixo e pode ser calculado através da Lei de Little, de acordo com o inventário total do sistema (HOCHREITER, 1999; HOPP E SPEARMAN, 2013):

$$N = (D \times T) + S \quad (1)$$

Onde:

- a) N é o número de cartões de produção;
- b) D é a demanda diária;
- c) T é o tempo total de ciclo em porcentagem do tempo diário
- d) S é um fator de segurança para garantia de atendimento à demanda.

O tratamento de gargalos neste sistema é realizado, conforme explica Spearman *et al.* (1990), formando um estoque de material antes do posto com

maior tempo de processamento. Enquanto houver material suficiente no sistema, os postos anteriores ao gargalo empurrarão rapidamente tudo até sua entrada e os postos posteriores também retiram material e processam de forma rápida. Assim o único estoque em processo grande se forma em frente ao processo gargalo, garantindo seu funcionamento em plena capacidade.

2.2.4 Comparações entre programação empurrada, puxada e híbrida

Alguns autores compararam os três métodos: MRP, *Kanban* e CONWIP, apontando as principais diferenças e vantagens de uma aplicação em relação a outra, conforme será descrito a seguir.

Pode-se diferenciar a programação empurrada da puxada pelas ações que disparam o fluxo produtivo: enquanto na programação empurrada a produção é programada e executada em função da demanda prevista, a programação puxada irá iniciar a produção apenas quando houver colocação de pedido dos clientes finais ou internos à produção. Já na programação híbrida, é o cliente final que dispara a produção, entretanto, o pedido se inicia no primeiro processo produtivo e é encaminhado ao longo da produção até o estoque de produtos acabados.

Lemos (1999) e Torga (2006) apresentam algumas deficiências da programação empurrada da produção, as quais podem ser solucionadas através da programação puxada. São elas:

- a) Os sistemas de produção empurrada são inflexíveis quanto as variações rápidas de demanda, promovendo resposta lenta devido à dificuldade em reprogramação da produção. É possível ainda que esta dificuldade promova excesso de estoque e inventário morto.
- b) A inspeção dos índices de produção e níveis de estoque é dificultada, fazendo com que o plano de produção considere níveis altos de estoque para se resguardar quanto a quebras na produção que comprometam o atendimento à demanda.

- c) Os planos ótimos de produção são difíceis de executar, inviabilizando melhorias em tamanhos de lote e tempo de processamento.

Hopp e Spearman (2013) apontaram as diferenças entre os sistemas empurrados, puxados e híbridos, sob a perspectiva da modelagem, conforme ilustrado na Figura 8. Segundo os autores, o sistema CONWIP é semelhante a uma rede de filas fechadas, na qual os clientes (trabalhos) circulam indefinidamente dentro da rede.

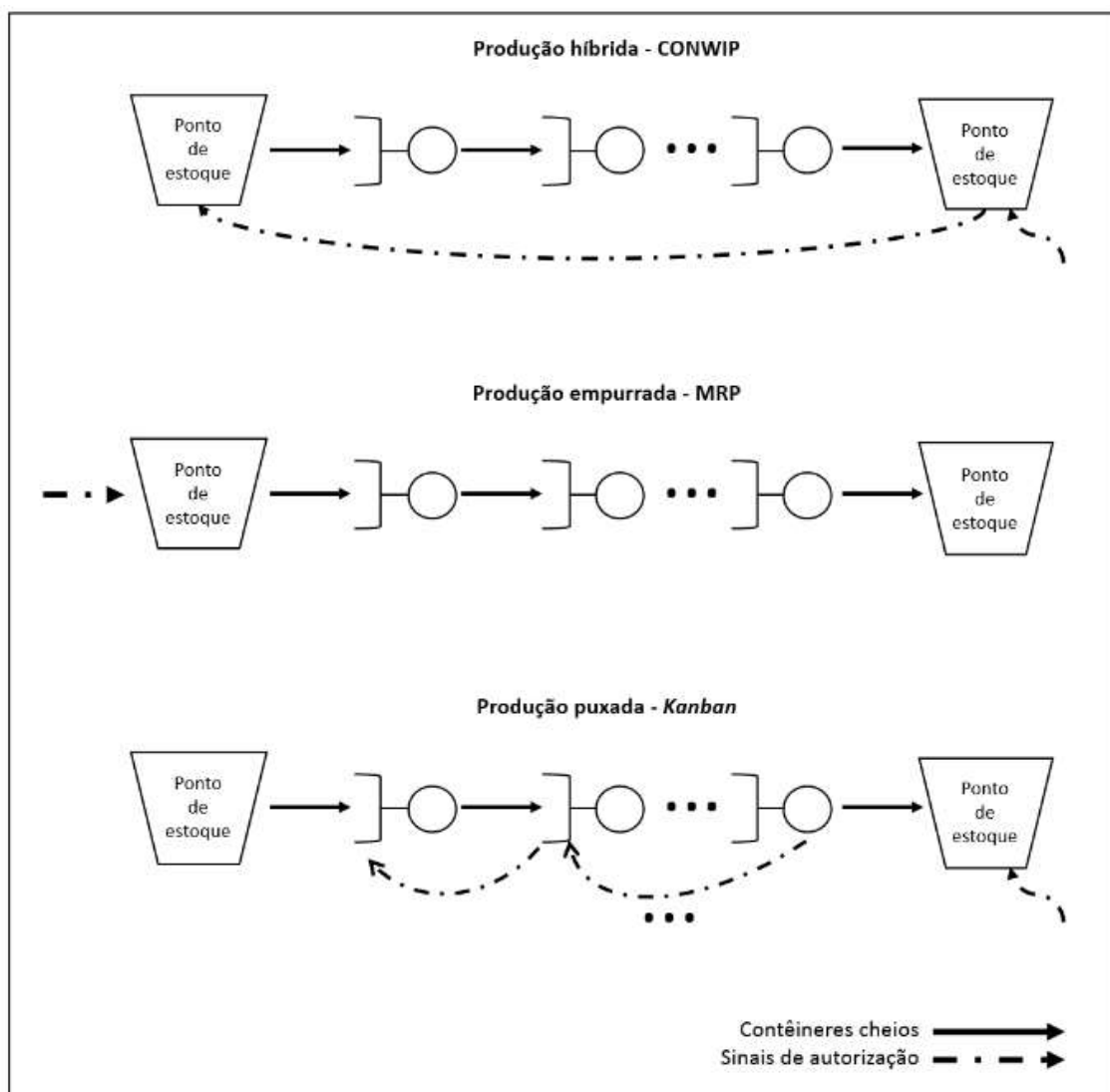


FIGURA 8: SISTEMAS CONWIP, MRP E KANBAN SOB A PERSPECTIVA DA MODELAGEM DAS FILAS.

FONTE: Hopp e Spearman (2013).

O sistema MRP cuja programação é puramente empurrada se comporta como uma rede aberta de filas, na qual os trabalhos entram na linha e partem tão logo estejam finalizados, ou seja, não retornam ao início do sistema. As liberações de trabalho para as linhas são realizadas a partir dos planejamentos de necessidade de materiais, de acordo com a previsão de demanda, não importando a quantidade de trabalhos existentes na linha nem pedidos dos clientes. Dessa forma a quantidade de trabalhos pode variar ao longo do tempo, de acordo com as chegadas de ordens de produção, independentemente do andamento do sistema (HOPP, SPEARMAN, 2013).

Já o sistema *Kanban* se comporta como uma rede de filas fechada e com bloqueio. Este bloqueio é dado pelo número máximo de WIP no sistema que é proporcional ao número de cartões no sistema. Cada cartão de produção funciona como um espaço em um estoque finito em frente de cada estação. Se este estoque ficar cheio, ocorre o bloqueio da estação anterior (HOPP, SPEARMAN, 2013).

Através de simulação alguns autores identificaram vantagens na utilização do sistema CONWIP frente aos sistemas *Kanban* ou de produção empurrada, como segue (BONVIK, 1997; SPEARMAN *et al.*, 1990; SPEARMAN, ZANANIS, 1992):

- a) Ao comparar o sistema CONWIP com os demais segundo o nível de serviço, este obteve menor inventário total de produtos acabados e menor quantidade de material em processo, sob as mesmas condições de produção;
- b) Obteve menor variabilidade da quantidade de material em processo, traduzindo-se em melhor controle sobre este item;
- c) Em um estudo realizado no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) os sistemas foram comparados em uma linha com dez postos de trabalho e demanda constante e o sistema CONWIP atendeu melhor a demanda, com menor nível de material em processo. Também foi mais flexível em relação a alterações na demanda.

- d) O mesmo estudo citou que o sistema CONWIP apresenta melhor desempenho que o sistema *Kanban*, quanto maior for a quantidade de postos de trabalho e/ou a variabilidade do processo.

Alguns estudos comparativos dos sistemas, conduzidos sob diferentes alocações dos cartões *Kanban*, posição dos gargalos e tempos de processamento sugeriram os seguintes resultados (LEE, 1989):

- a) A produção empurrada tem melhor desempenho em termos da quantidade total produzida, ou seja quantidade total de produtos acabados, embora apresente grande quantidade de material em processo;
- b) Quanto à variação do *lead time*, o sistema *Kanban* tem menor variação, seguido pelo sistema CONWIP e o pior caso encontra-se na produção empurrada;
- c) Sob grandes variações de demanda, os sistemas puxados apresentaram melhor desempenho quanto aos níveis de material em processo, os quais são mantidos moderados.

O Quadro 1 aponta as principais diferenças entre as abordagens de programação da produção empurrada, puxada e híbrida, resumindo os resultados encontrados na literatura para comparações entre os três tipos de programação da produção. São comparados no Quadro 1 a forma de utilização da previsão de demanda, os tipos de sistemas de informação utilizados, o ritmo de produção, as dimensões dos estoques, os tamanhos dos lotes de produção e o tipo de fluxo produtivo.

Tanto a programação empurrada da produção como a puxada, são amplamente utilizadas pelas empresas, e cabe a elas confrontar as suas características para determinar qual a forma mais adequada de produzir ou até mesmo adotar um sistema híbrido que combine as duas abordagens, conciliando as características mais convenientes de cada tipo de programação de acordo com o ambiente produtivo.

	Programação Empurrada	Programação Puxada	Programação Híbrida
Previsão de demanda	Utilizadas para dimensionar o sistema produtivo e programar a produção.	Utilizadas apenas para dimensionar o sistema produtivo.	Utilizadas apenas para dimensionar o sistema produtivo.
Sistema de informação	O sistema de informação que orienta e agiliza a programação da produção é externo à produção, através dos sistemas MRP e MRP II.	O sistema de informação que orienta e agiliza a programação da produção é inerente à produção e operacionalizado pelo sistema de cartões Kanban.	O sistema de informação que orienta e agiliza a programação da produção é inerente à produção e operacionalizado pelo sistema de cartões CONWIP.
Ritmo de produção	Ritmo de produção constante nos postos de trabalho.	Ritmo de produção não é constante nos postos de trabalho.	Ritmo de produção constante nos postos de trabalho.
Estoque	Estoques iniciais, intermediários e finais existem e podem ser altos.	Estoques iniciais, intermediários e finais são inexistentes ou mínimos, uma vez que se adota a eliminação de desperdícios.	Estoques apenas para minimizar os efeitos dos processos gargalos.
Lotes de produção	É empregado um lote econômico de produção para manter a utilização da estrutura produtiva eficiente.	Produção voltada à busca imediata de atendimento à demanda, levando a ciclos de produção mais baixos e eliminação de estoques intermediários, através de fluxo unitário.	Produção voltada à busca imediata de atendimento à demanda, porém, considerando um lote econômico, através de fluxo fixo.
Fluxo	Fluxo de informação e de produção seguem a mesma direção.	Fluxo de informação e de produção em direções opostas.	Fluxo de informação e de produção seguem a mesma direção.

QUADRO 1: COMPARATIVO ENTRE A PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EMPURRADA E A PUXADA.

FONTE: a autora; Adaptado de Lemos (1999), Hopp e Spearman (2013).

2.3 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Müller (2003) afirma que a competitividade das empresas depende das estratégias adotadas por ela, as quais devem estar alinhadas aos seus objetivos. A avaliação de desempenho tem como objetivo medir o estado do sistema, atual e futuro, visando gerar informações que permitam analisar se as estratégias adotadas estão levando ao atendimento dos objetivos estabelecidos.

A avaliação do desempenho de um sistema pressupõe que os objetivos da organização possam ser traduzidos como um sistema de controle realizado através de indicadores ou medidores de desempenho. (MÜLLER *et al.*, 2003; DE HAAS; KLEINGELD, 1999).

Neely *et al.* (1995) apresentam a medição do desempenho como a quantificação da eficiência e eficácia das atividades empresariais, onde a eficácia se relaciona com o atendimento dos requisitos dos clientes e a eficiência mede a utilização econômica dos recursos empresariais visando atender de forma satisfatória a satisfação dos clientes.

Rentes *et al.* (2001) definem o sistema de medição de desempenho como “um conjunto de processos e ferramentas para coletar e analisar dados, capaz de apresentar informações sobre o desempenho de uma unidade organizacional” (RENTES *et al.*, 2001, p. 127).

A relevância e importância de um sistema de medição e avaliação do desempenho do sistema é justificada, entre outros fatores, pelo aumento da competitividade entre as empresas, mudanças na natureza do trabalho e os processos com características multifuncionais (NEELY, 1999).

Em avaliações no ambiente de produção puxada, as medidas de desempenho podem ser classificadas em categorias (KIM, 2000):

- a) Relacionadas ao inventário de materiais, produtos em processo e acabados;
- b) Relacionadas ao nível de atendimento à demanda;
- c) Relacionadas aos tempos produtivos;
- d) Relacionadas à capacidade total de produção.

Tubino e Danni (1997) afirmam que o objetivo de um sistema de avaliação de desempenho é mensurar a empresa buscando gerenciar sua performance visando atingir objetivos determinados. Segundo os autores são medidas de desempenho dos sistemas produtivos o volume de produção, tempo de atravessamento, *lead time*, estoque em processo, taxas de utilização dos recursos e margem de segurança.

Filho e Uzsoy (2009) também apresentam variáveis que podem medir o desempenho do sistema em um trabalho de acordo com o efeito de programas de melhoria contínua sobre o estoque em processo e nível de utilização dos postos de trabalho.

De acordo com as definições de avaliação e medição de desempenho e com as áreas de medição relacionadas ao ambiente de produção, a Figura 9 apresenta um sistema de avaliação de desempenho para o ambiente produtivo.

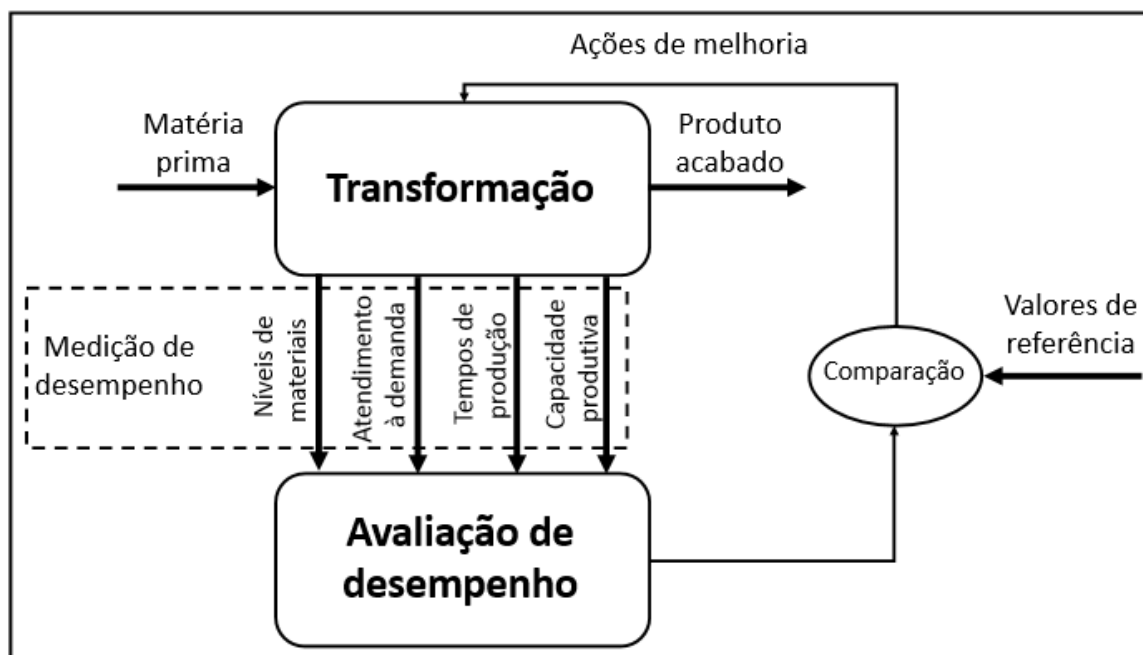


FIGURA 9: SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM AMBIENTE DE PRODUÇÃO.

FONTE: A autora.

À medida que ocorre a transformação de matéria prima em produto acabado os níveis de material em processo, o atendimento à demanda, os tempos de produção e a capacidade produtiva são medidos e é realizada uma avaliação do desempenho. Os resultados da avaliação são comparados com valores de referência, alinhados aos objetivos da empresa e, a partir dos resultados desta comparação, ações de melhoria podem ser propostas para a produção, visando aproximar os níveis medidos aos valores de referência.

Nas próximas seções serão detalhadas as principais medidas de avaliação do sistema produtivo.

2.3.1 Medidas relacionadas aos níveis de materiais

O volume de produção (VP), segundo Tubino e Danni (1997) é uma variável que objetiva medir a quantidade de produtos produzidos e vendidos interna e externamente em um período de tempo. No ambiente JIT qualquer volume de produção que exceda o necessário para consumo imediato é considerado estoque, representando um custo que não agrega valor ao produto. Pode-se atribuir ao volume de produção a seguinte medida (TUBINO, DANNI, 1997):

$$VP = \frac{QP}{QV} \quad (2)$$

Onde:

- a) VP é o volume de produção;
- b) QP é a quantidade de itens produzidos; e
- c) QV é a quantidade de itens vendidos interna ou externamente.

O volume de produção, em uma situação ideal, deve ser exatamente igual ao volume solicitado pelo cliente, com valor igual a 1. Caso o valor seja menor que 1 a empresa não consegue atender à demanda e maior que 1 são gerados estoques de produtos acabados.

O estoque de matéria prima (EMP) é todo insumo que pode ser utilizado na produção e que irá compor o produto final, porém, ainda não foi processado na linha. Geralmente a compra de matérias primas é realizada segundo o planejamento mestre da produção mediante uma previsão de demanda para garantir a produção por um horizonte de tempo pré-determinado (HOPP, SPEARMAN, 2013; TUBINO, 2009).

O estoque em processo, também denominado *Work in Process* (WIP), é todo material que está em algum ponto da linha de produção sendo processado ou aguardando processamento. O JIT tem como meta reduzir o WIP ao mínimo valor que possibilite atendimento à demanda, sendo esse o foco de muitos programas de melhoria que visam diminuir os custos de produção. Pode-se

separar dentro os materiais em processo aqueles que estão sendo processados daqueles que estão aguardando processamento. Em algumas abordagens utiliza-se o termo WIP para denotar apenas materiais que estão em processamento (HOPP, SPEARMAN, 2013; TUBINO, DANNI, 1997).

O estoque de produtos acabados (EPA) é todo o estoque de produtos que estão prontos para entrega ao cliente final, porém ainda não foram consumidos. Assim como o estoque em processo, segundo o JIT, o estoque de produtos acabados deve ser minimizado garantindo que um item só será produzido se houver demanda confirmada para o mesmo (HOPP, SPEARMAN, 2013; TUBINO, 2009).

As medidas de desempenho, relacionadas aos níveis de materiais em processo estão resumidas no Quadro 2.

Medida	Descrição	Unidade de medição
VP	Relação entre itens produzidos e vendidos interna ou externamente.	Adimensional
EMP	Estoque de matéria prima disponível para produção.	Unidades
EPA	Estoque de produtos acabados disponíveis para atendimento ao cliente.	Unidades
WIP	Material em processo ou aguardando para ser processado.	Unidades

QUADRO 2: MEDIDAS DE DESEMPENHO RELACIONADAS AOS NÍVEIS DE MATERIAIS.

FONTE: A autora; Adaptado de Hopp e Spearman (2013), Tubino (2009) e Tubino e Danni (1997).

2.3.2 Medidas relacionadas ao nível de atendimento à demanda

O Número de *Backorders* (NB) representa a quantidade de pedidos rejeitados por quebra no atendimento à demanda devido à falta de itens ou produtos em estoques de matéria prima, em processo ou acabados. Essa medida pode indicar a necessidade de aumento do número de *Kanbans* de produção nos centros de trabalho (TUBINO, DANNI, 1997).

O tempo entre a chegada de ordens de produção não é fixo na produção puxada, uma vez que ocorre quando o cliente coloca um pedido. Existe alguma previsibilidade desse tempo, baseada em previsão da demanda por análise de

dados históricos, entretanto, é um valor aleatório que reflete diretamente a variabilidade na Taxa de Chegada (TxC) do sistema. Normalmente é medida em termos do desvio padrão e da média de valores de tempo entre chegadas (TUBINO, DANNI, 1997).

O Nível de Atendimento ao cliente (NA) reflete a quantidade de pedidos dos clientes atendidos em relação à quantidade total de pedidos, ou seja, quantos dos pedidos são entregues e quantos são quebrados. O nível de atendimento pode ser representado em função do Tempo de Ciclo (CT) e do *Lead Time* (LT), que serão descritos na próxima seção, da seguinte forma (HOPP, SPEARMAN, 2013):

$$NA = P \{CT \leq LT\} \quad (3)$$

Onde:

- a) NA é o nível de atendimento;
- b) CT é o tempo de ciclo; e
- c) LT é o *lead time* produtivo.

As medidas de desempenho, relacionadas aos níveis de atendimento à demanda, estão resumidas no Quadro 3.

Medida	Descrição	Unidade de medição
NB	Número de <i>Backorders</i> , ou seja, pedidos rejeitados em função da falta de itens em estoque.	Unidades
TxC	Tempo entre a chegada de ordens.	Unidade de tempo
NA	Nível de atendimento ao cliente.	Adimensional

QUADRO 3: MEDIDAS DE DESEMPENHO RELACIONADAS AOS NÍVEIS DE ATENDIMENTO À DEMANDA.

FONTE: A autora; Adaptado de Hopp e Spearman (2013), e Tubino e Danni (1997).

2.3.3 Medidas relacionadas aos tempos produtivos

O lead time (LT) é o tempo gasto por um item durante seu processamento, desde o momento de disparo de uma ordem de produção até o momento que é finalizado em um produto acabado e entregue à quem o solicitou (TUBINO, DANNI, 1997).

A variabilidade do processo reflete sua não uniformidade em termos de tempo de processamento devido a indisponibilidade de algum recurso produtivo, como paradas de máquina por falhas, faltas de mão de obra ou até de matéria prima para produção. Ao aumentar a variabilidade o desempenho do sistema produtivo é prejudicado quanto aos níveis de estoque, capacidade e tempo (TUBINO, DANNI, 1997).

O tempo até uma falha (TAF) é aquele em que o processo tem funcionamento normal desde o início após uma parada até a ocorrência de parada por falha, manutenção ou ausência de matérias primas (HOPP, SPEARMAN, 2013).

O tempo de reparo (TR) é aquele em que o processo segue interrompido, até que os componentes que apresentaram falhas sejam solucionados de forma corretiva ou o tempo de parada para manutenção preventiva (HOPP, SPEARMAN, 2013).

O tempo de setup (TS) é aquele gasto entre um processo e outro, no mesmo posto de produção, devido a troca de alguma ferramenta para alterar o curso da produção. É utilizado quando deseja-se alterar o modelo a ser produzido ou alguma característica do produto (HOPP, SPEARMAN, 2013).

As medidas de desempenho, relacionadas aos tempos de processo, estão resumidas no Quadro 4.

Medida	Descrição	Unidade de medição
CT ou LT	Tempo gasto por um item desde o momento de uma ordem de produção até o final do processo produtivo.	Unidade de tempo
TAF	Tempo médio entre falhas de um recuso.	Unidade de tempo
TR	Tempo médio de reparo dos recursos.	Unidade de tempo
TS	Tempo médio de setup nos recursos.	Unidade de tempo

QUADRO 4: MEDIDAS DE DESEMPENHO RELACIONADAS AOS TEMPOS DE PROCESSO.

FONTE: A autora; Adaptado de Hopp e Spearman (2013), e Tubino e Danni (1997).

2.3.4 Medidas relacionadas à capacidade produtiva

A taxa de saída de produtos acabados do sistema ou *throughout* (TH) é a medida de saída média de um produto em uma linha de produção por unidade

de tempo, ou seja, a quantidade de produtos acabados que o sistema entrega em um período. Comumente essa medida é associada à quantidade de produtos acabados e sem defeitos, ou seja, cuja qualidade foi aprovada, produzidos em um período de tempo. Essa medida é limitada à capacidade máxima nominal do sistema, que é o valor máximo que o sistema permite produzir por um período de tempo devido às suas restrições físicas de recursos como maquinário e mão de obra.

A taxa de utilização (U) de um posto de trabalho é a fração de tempo em que uma estação não está ociosa devido à falta de itens para processar, incluindo tempos de paradas de máquinas por falhas e setups. A taxa de utilização do posto pode ser medida da seguinte forma:

$$U = \frac{TCh}{TEP} \quad (4)$$

Onde:

- a) U é a taxa de utilização;
- b) TCh é a taxa de chegada; e
- c) TEP é a taxa efetiva de produção.

Uma vez que no JIT só existe produção quando existe consumo, essa medida avalia também o balanceamento entre os postos de trabalho, pois, em teoria um posto não deveria ficar improdutivo aguardando peças do posto anterior. Essa medida possibilita também avaliar a flexibilidade do sistema, uma vez que sob baixas taxas de utilização é possível absorver variações que provoquem aumento de demanda.

O recurso gargalo é aquele cujo processo apresenta maior tempo de processamento dentre os demais da linha, e sua taxa de utilização (URG) permite identificar o menor tamanho de lote que possibilita suprir a demanda sem quebra. É uma medida que determina a capacidade do recurso gargalo em absorver redução na quantidade de peças por Kanban, aumentando o número de setups efetuados.

As medidas de desempenho, relacionadas à capacidade produtiva estão resumidas no Quadro 5.

Medida	Descrição	Unidade de medição
TH	Taxa de saída de produtos acabados.	Unidades / Unidade de tempo
U	Taxa de utilização de recurso.	%
URG	Taxa de utilização do recurso gargalo.	%

QUADRO 5: MEDIDAS DE DESEMPENHO RELACIONADAS À CAPACIDADE PRODUTIVA.

FONTE: A autora; Adaptado de Hopp e Spearman (2013); Tubino e Danni (1997).

2.4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A modelagem e simulação por computador têm sido muito utilizadas como apoio à tomada de decisão através da análise dos problemas constantes em um ambiente de produção. Os modelos de simulação tem capacidade de capturar as peculiaridades dos sistemas produtivos ainda que complexos e de natureza dinâmica e aleatória. Também possibilitam a análise de diferentes cenários que seria impraticável no sistema real devido às mudanças necessárias para avaliar cada cenário (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

A simulação, segundo Harrel *et al.* (1992), compreende reprodução de um sistema real em um modelo computacional possibilitando avaliação de seu desempenho e aplicações de melhorias.

Segundo Pedgen *et al.* (1995) a “simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

Freitas (2008) destaca que a simulação é mais ampla que apenas um modelo computacional representativo de um sistema, abrangendo também o método de experimentação deste modelo com objetivos de (FREITAS, 2008):

- Descrever o comportamento do sistema;
- Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas;
- Usar o modelo para prever os efeitos produzidos pelos métodos empregados em sua operação.

Pedgen *et al.* (1995) definiram a simulação também como “o desenvolvimento de um modelo lógico que reproduz a realidade, a fim de avaliar o comportamento e o desempenho de sistemas sob as mais variadas condições” (PEDGEN *et al.*, 1995). Segundo os autores, entre os benefícios de utilizar a simulação estão: possibilidade de explorar novas técnicas e procedimentos sem comprometer o processo em utilização; possibilidade de controlar a velocidade do tempo expandindo ou comprimindo para estudar um fenômeno; avaliação das variáveis significativas para o desempenho do sistema e como elas se relacionam; visualização do funcionamento do sistema possibilitando gerar inferências sobre as ações de melhorias.

Para Freitas (2008) a simulação tem grande importância para a gestão das organizações uma vez que:

- A simulação permite aos analistas considerarem detalhes sobre o sistema representado, os quais trazem maior fidedignidade à representação;
- O emprego de animações, possível nas simulações, permite visualizar o comportamento dos sistemas durante a execução da simulação;
- Economia de tempo e recursos financeiros ao simular o sistema ao invés de realizar mudanças no sistema real;
- Gera a percepção de semelhança do modelo com o sistema real.

Banks e Carson(1984), Pedgen *et al.* (1995) e Freitas (2008) apresentaram algumas vantagens e desvantagens relacionadas ao emprego da simulação, as quais são descritas a seguir. Como vantagens, os autores citaram:

- O mesmo modelo de simulação pode ser utilizado inúmeras vezes na avaliação de projetos e propostas;
- A análise da simulação permite avaliar sistemas ainda em fases iniciais de projeto;
- Geralmente a metodologia de simulação possui mais facilidade de aplicação que métodos analíticos;

- O tratamento dos métodos analíticos requer muitas simplificações para torna-los matematicamente representáveis, já a simulação possibilita detalhamento e análise de diversos fatores simultaneamente;
- Modelos de simulação permitem a avaliação dos sistemas sem interferências reais nos mesmos;
- Hipóteses acerca do funcionamento dos sistemas podem ser testadas;
- Permite controle do tempo, possibilitando análise acelerada ou lenta;
- Facilita a identificação de recursos gargalos no sistema;
- O estudo de simulação permite evidenciar o funcionamento real do sistema, contrapondo ao que acredita-se que ocorra;
- A simulação permite explorar informações sobre situações novas, ainda não implementadas na prática.

Apesar das inúmeras vantagens, os autores também evidenciam algumas desvantagens na utilização da simulação, tais como:

- A construção dos modelos de simulação requer treinamento e conhecimento especializado tanto do sistema como da linguagem de programação adotada;
- Existe dificuldade de interpretação acerca dos resultados da simulação;
- A modelagem e a experimentação consomem recursos, principalmente de tempo, os quais devem ser confrontados com as demais opções como métodos analíticos, por exemplo.

Neste trabalho a simulação computacional será utilizada para analisar a relação entre variáveis que influenciam os tempos de produção e os níveis de estoque em processo e de produtos acabados, em diferentes cenários. As entradas serão dados de produção de um estudo de caso e os valores de referência serão aqueles que representam mínimos estoques sem a quebra da produção.

2.4.1 Terminologia em modelagem e simulação

Existem alguns termos usualmente empregados na conceituação dos elementos envolvidos na modelagem e simulação, conforme coloca Freitas (2008). Alguns destes termos serão abordados a seguir:

- Sistema: um agrupamento de partes que operam juntas, visando atingir um objetivo comum (FORRESTER, 1968).
- Modelo: é uma abstração da realidade que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, porém mais simples que o sistema real (CHWIF, MEDINA, 2015).
- Variáveis de estado: são as variáveis cujos valores determinam o estado de um sistema (FREITAS, 2008).
- Eventos: são acontecimentos que quando ocorrem provocam mudança de estado em alguma variável (FREITAS, 2008).
- Entidades: um objeto da simulação que possui uma definição clara. Podem ser estáticas ou dinâmicas e representam os recursos transformados e de transformação (CHWIF, MEDINA, 2015; FREITAS, 2008).
- Recursos: um recurso é uma entidade que fornece serviços ao sistema, podendo ser compartilhado ou exclusivo de uma entidade (CHWIF, MEDINA, 2015; FREITAS, 2008).
- Atividades: são ações que mudam o estado das entidades que passam por elas e possuem um tempo atribuído à sua operação (CHWIF, MEDINA, 2015; FREITAS, 2008).
- Tempo de simulação: o tempo de simulação é aquele em que deve-se realizar o experimento, devendo corresponder ao tempo de operação do sistema real (CHWIF, MEDINA, 2015; FREITAS, 2008).

2.4.2 Metodologia de modelagem e simulação

Chwif e Medina (2015) apresentam uma metodologia de modelagem e simulação com etapas iterativas, ilustrada na Figura 10, descritas a seguir.

Como a metodologia de modelagem e simulação apresentada não é linear, caso os resultados da simulação obtidos não sejam considerados apropriados ao sistema real, o modelo deve ser reformulado, retornando à primeira etapa, utilizando-se de realimentações iterativas. O retorno às etapas anteriores, deve ser realizado sempre que uma não conformidade entre o objetivo e a execução for encontrada. Dessa forma, a criação do modelo de simulação pretende atender com maior fidedignidade aos objetivos definidos no início do processo (CHWIF, MEDINA, 2015).

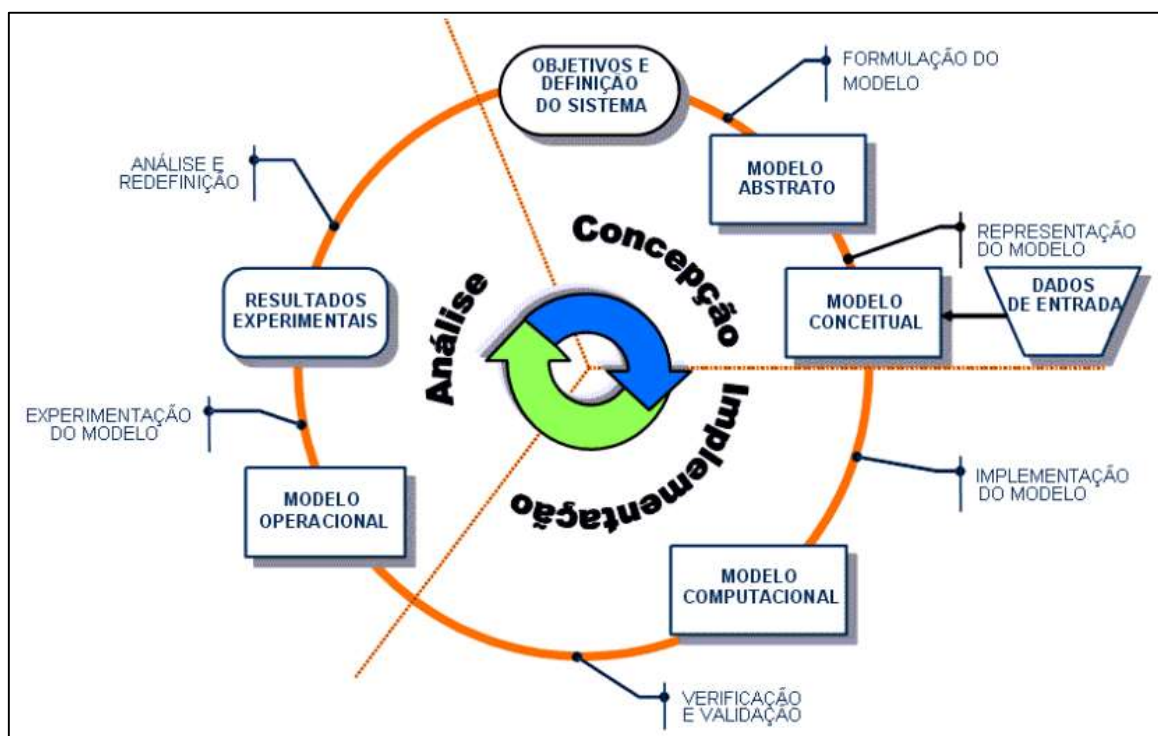


FIGURA 10: METODOLOGIA DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO.

FONTE: Chwif e Medina (2015).

As etapas de concepção, implementação e análise serão detalhadas nas próximas seções.

2.4.2.1 Etapa de concepção

Na etapa de 'concepção' o sistema real e seus problemas devem ser investigados visando identificar as características do sistema a ser modelado e estabelecer os objetivos da simulação.

Devem ser definidos o escopo do modelo, suas hipóteses restritivas e o nível de detalhamento necessário para representá-lo. É definido um modelo abstrato, que sintetiza as características do sistema real relevantes para avaliação de desempenho de acordo com os objetivos estabelecidos. A partir do modelo abstrato, é definido um modelo conceitual que apresenta todos as relações e dados do sistema real em formato compreensível para a linguagem de modelagem adotada (CHWIF, MEDINA, 2015).

Chwif e Medina (2015) descrevem o Diagrama de Ciclo de Vida (*Activity Cycle Diagram – ACD*) como uma ferramenta de modelagem das interações entre os objetos existentes em um sistema que possibilita a criação de um modelo conceitual. No ACD, cada entidade do sistema possui um ciclo de vida, no qual percorre por filas e atividades alternadamente. A Figura 11 mostra como são representadas as filas e atividades no ACD, através de círculos e retângulos, respectivamente.

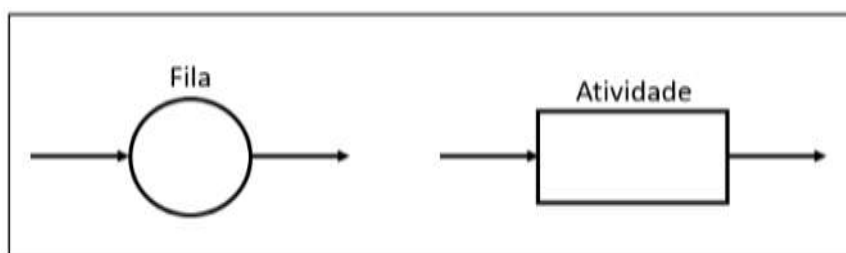


FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO DA FILA E DA ATIVIDADE NO ACD.

FONTE: Chwif e Medina (2015).

A Figura 12 apresenta um exemplo de ACD conservativo ou fechado, cujo número de entidades presentes no sistema é sempre constante ao longo do tempo.

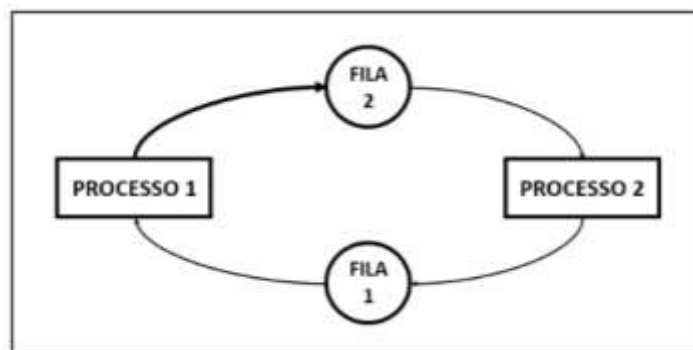


FIGURA 12: ACD DE UM SISTEMA CONSERVATIVO.

FONTE: a autora.

No sistema fechado, ilustrado na Figura 12, uma entidade aguarda na FILA 1 pelo PROCESSO 1 e, ao sair deste processo aguarda na FILA 2 pelo PROCESSO 2. Ao ser executado o segundo processo a entidade retorna à FILA 1 e o ciclo de reinicia.

A figura 13 apresenta um exemplo de ACD não conservativo ou aberto, cujo número de entidades presentes no sistema é variável ao longo do tempo.

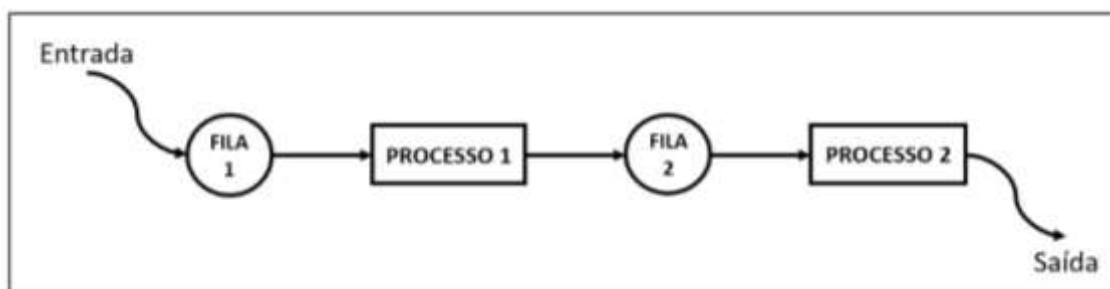


FIGURA 13: ACD DE UM SISTEMA NÃO CONSERVATIVO.

FONTE: a autora.

No sistema aberto, ilustrado na Figura 13, uma entidade entra no sistema, aguarda na FILA 1 pelo PROCESSO 1 e, ao sair deste processo aguarda na FILA 2 pelo PROCESSO 2. Ao sair do segundo processo ela deixa o sistema. Nestes sistemas os processos só ocorrem se houver chegada de entidades externas.

Ainda na etapa de concepção, após o entendimento do sistema real, é necessário coletar dados referentes às variáveis de estado do sistema produtivo.

Tais dados deverão ser estatisticamente tratados para compor o modelo computacional.

2.4.2.2 Etapa de implementação

Na etapa de ‘implementação’ o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional, que, segundo Freitas (2008) deve sugerir uma analogia digital ao sistema real. Esta analogia só é possível ao transformar os dados colhidos na etapa de concepção em um comportamento estocástico, o que na modelagem computacional é alcançado pela utilização de distribuições de probabilidades (empíricas ou teóricas) na representação da multiplicidade das ocorrências de eventos aleatórios (FREITAS, 2008).

Ao utilizar distribuições de probabilidade para representar o comportamento aleatório dos sistemas reais é importante considerar (FREITAS, 2008):

- i. Os valores que a variável pode assumir devem estar dentro da amplitude coberta pela distribuição adotada;
- ii. A probabilidade de ocorrência de qualquer valor no intervalo é determinada pela curva da distribuição adotada.

Dessa forma, conforme afirma Freitas (2008), torna-se possível antecipar os valores que uma variável aleatória pode assumir, sem determinar antecipadamente seu valor.

Uma vez criados os modelos conceitual e computacional que representam o sistema real, é importante realizar a verificação e sua validação. A verificação do modelo computacional diz respeito à qualidade de sua implementação, garantindo seu funcionamento correto, independente da sua compatibilidade com o sistema real. Já a validação do modelo deve avaliar sua representatividade frente ao sistema real. Ambos os modelos conceitual e computacional devem ser validados, frente ao sistema real. A verificação e validação na modelagem permitem a utilização do modelo de forma confiável para a análise de desempenho do sistema (CHWIF, MEDINA, 2015).

Segundo Freitas (2008) o processo de verificação do modelo computacional consiste em eliminar todos os erros de sintaxe e/ou lógica que impossibilitam o seu correto funcionamento. Já a validação, o autor afirma que é a garantia da representatividade do modelo em relação ao sistema real modelado.

Os processos de implementação, verificação e validação ocorrem em seis passos, conforme ilustra a Figura 14, os quais serão descritos a seguir.

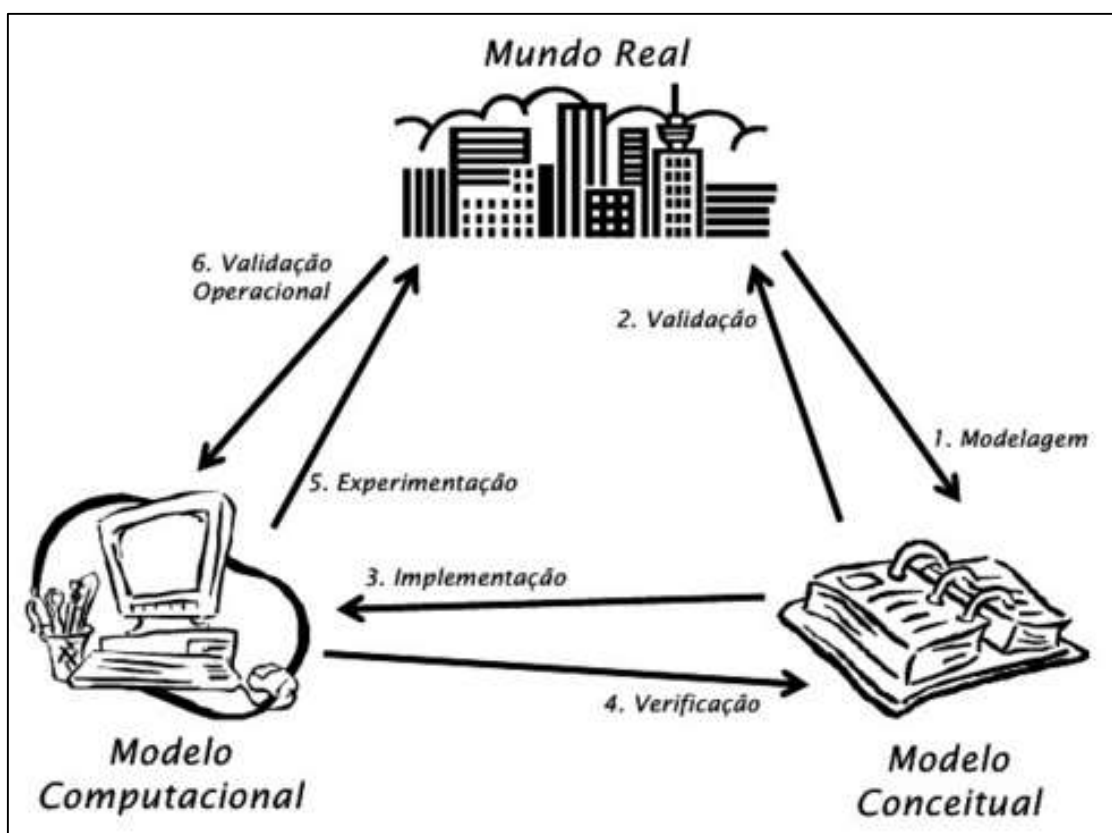


FIGURA 14: METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO.

FONTE: Chwif e Medina (2015).

Na 'Modelagem' (1), é necessário compreender o sistema real a ser modelado e traduzir suas características para um modelo conceitual. O modelo conceitual deve passar pela 'Validação' (2) frente ao sistema real para garantir que o representa com um nível de segurança viável para analisar e viabilizar a construção do modelo computacional. Uma vez modelado conceitualmente, deve ser feita a 'Implementação' (3) do modelo computacional, o qual deve

passar pela ‘Verificação’ (4) quanto ao seu funcionamento garantindo que execute os objetivos da simulação de forma correta. Verificado o modelo computacional ele deve ser experimentado com dados do sistema real. Espera-se que na ‘Experimentação’ (5) com dados reais obtenha-se um comportamento semelhante ao do sistema real no modelo computacional e então ocorre sua ‘Validação Operacional’ (6).

Segundo Bateman *et al.* (1999) um modelo de simulação deve refletir o sistema real garantindo a confiabilidade da análise dos dados, por isso a verificação e validação são importantes. Os autores afirmam que a verificação consiste em constatar seu funcionamento adequado e pode ser realizado através de rodadas de simulação em baixa velocidade monitorando a evolução do modelo e a movimentação das entidades conforme o desejado. Caso o comportamento não seja o esperado, alterações devem ser realizadas.

Para verificação do modelo computacional Chwif e Medina (2015) propõe algumas técnicas:

- Implementação e verificação modular: implementação do modelo em partes e verificação destas partes visando sanar problemas antes de o modelo se tornar muito grande ou complexo, o que dificultaria a análise de seu comportamento.
- Valores constantes ou simplificados versus cálculos manuais: considerar os valores médios das distribuições de probabilidade constantes, realizando uma simulação determinística, para possibilitar a comparação com valores calculados manualmente. Se os valores forem similares, é um indicativo de que o modelo se comporta adequadamente.
- Utilização de ferramentas de depuração: as ferramentas de depuração permitem que a simulação seja executada passo a passo, o que permite melhor visualização do andamento da operação.
- Simulação manual: realizar os passos da simulação manualmente é uma técnica dispendiosa, mas que permite que o analista adquira sensibilidade sobre comportamento do modelo, o que faz com que a análise da simulação seja mais assertiva.

- Animação gráfica: a animação permite visualizar a localização de todas as entidades em tempo real e ao analisar a animação é possível identificar se todas as entidades são encaminhadas para seus devidos lugares nos momentos devidos.
- Revisão em grupo: a revisão em grupo consiste em solicitar a revisão do modelo por um terceiro, não envolvido na programação, mas que compreenda os conceitos utilizados na modelagem e também, preferencialmente, o funcionamento do sistema real a ser modelado.

A validação do modelo tem como objetivo, segundo Law e Kelton (1991), aumentar sua confiabilidade em relação ao sistema estudado. Ao validar o modelo, as decisões tomadas com base nos resultados da simulação podem ser consideradas confiáveis, mesmo sem interferência no sistema real.

Bateman *et al.* (1999) sugerem que a validação do modelo computacional seja realizada por especialistas com capacidade de confirmar se os elementos do modelo refletem a realidade. Também é possível utilizar dados históricos para rodar o modelo e verificar se o comportamento confere com ocorrências reais.

Law e Kelton (1991) sugerem três passos para validação de um modelo computacional:

- i. Primeiramente deve-se construir um modelo compreensível aos conhecedores do sistema real, o que só se torna possível quando o modelador adquire conhecimento acerca do sistema real;
- ii. Depois deve-se realizar um teste quantitativo inicial dos dados de saída, a partir de rodadas de simulação do modelo, comparando os resultados obtidos com os dados do sistema real. É possível ainda realizar testes de sensibilidade do modelo em relação à variações de grandezas que podem ser facilmente compreendidas no sistema real.
- iii. Finalmente é necessário comparar dados resultantes do modelo com dados do sistema real.

Chwif e Medina (2015) propõem algumas técnicas para validação dos modelos computacionais:

- Teste de Turing ou validação em caixa preta: são gerados resultados no modelo computacional os quais são confrontados com resultados reais do sistema. Caso um entendedor do sistema não consiga identificar quais dados são reais e quais resultam da simulação, pode-se afirmar que o modelo representa com fidedignidade o sistema real.
- Duplicação de modelos: consiste em dupla implementação de modelos que representam o mesmo sistema real, por equipes diferentes. Caso os modelos tenham comportamento similares, é um bom indicativo de que o sistema real esteja bem representado. Embora seja eficiente, é uma técnica bastante onerosa, uma vez que exige recursos duplicados para modelagem.
- Comparação com modelos anteriores: caso existam modelos anteriores que representam o mesmo sistema, ou sistemas similares, é possível comparar os resultados gerados entre modelos.
- Análise de sensibilidade: deve-se determinar a influência de alterações dos parâmetros de entrada nos resultados obtidos a partir do modelo comparando-os com o comportamento previsto no sistema.
- Validação face a face: o construtor do modelo deve discutir com um entendedor do sistema real sobre a adequação do modelo.

Após verificado e validado o modelo, é possível iniciar a etapa de análise de cenários.

2.4.2.3 Etapa de análise

A etapa de 'análise' formula experimentos, ou seja, simulação em diferentes cenários, a partir de um modelo operacional e realiza a análise dos resultados obtidos. O modelo pode ser executado várias vezes, alterando

parâmetros controláveis e os resultados devem ser analisados e documentados, visando obter um conjunto de informações úteis à tomada de decisão (CHWIF, MEDINA, 2015).

2.4.3 Softwares de simulação

Segundo Chwif e Medina (2015), a simulação começou a ser utilizada na década de 1950 através de linguagem de programação geral, como FORTRAN, e todas as funções e ferramentas disponíveis em softwares de simulação atuais eram desenvolvidas pelo próprio programador de sistema. Em 1961 surgiu a primeira linguagem de programação direcionada à simulação, chamada *General Purpose Simulation System* – GPSS.

A partir dos anos 1980 surgiram os primeiros softwares com interface própria para simulação e iniciou-se a evolução das interfaces de simulação. Tal evolução possibilitou, segundo Sabily (1997), o aprimoramento das técnicas de simulação e a customização para aplicações específicas ao tipo de sistema que se pretende modelar, tais como manufatura, serviços, telecomunicações, reengenharia, entre outros.

Para realizar a modelagem do sistema produtivo estudado neste trabalho foram pesquisados alguns softwares comerciais de simulação computacional voltados aos sistemas de manufatura. Dentre os softwares encontrados, destacam-se:

- a) ARENA® (*Rockwell software Automation Inc*): software com ambiente gráfico visual, que possibilita a modelagem sem necessidade de escrita de códigos de programação. É composto por um conjunto de entidades que se movem pelo sistema, estações de trabalho onde os elementos são processados e o fluxo de movimentação das entidades (PRADO, 1999).
- b) ProModel® (*ProModel Corporation*): software de modelagem e simulação computacional com interface gráfica. Possibilita a criação de entidades, locais de processamento das entidades e recursos (BERGUE, 2000).

- c) SIMUL8® (*Simul8 Corporation*): software de simulação com interface gráfica e algumas funcionalidades acionadas por código de programação. Permite a criação de entidades, recursos, atividades de trabalho e inserção de filas de espera antes de cada atividade (CHWIF; MEDINA, 2006).

Os três softwares citados correspondem às necessidades de desempenho e disponibilidade de ferramentas para modelagem do sistema do estudo de caso com relação aos objetivos da pesquisa. Foi escolhido o Software SIMUL8® devido a sua disponibilidade na versão estudantil gratuita no Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Paraná, além da familiaridade das ferramentas por parte da autora.

O software SIMUL8® foi desenvolvido na década de 1990 na Universidade de Strathclyde na Escócia, com objetivo de viabilizar os estudos em simulação. Como obteve sucesso na versão estudantil, foi lançada uma versão profissional, pela Simul8 Corporation, para projetos de simulação. Possui um ambiente interativo, cuja interface inicial é apresentada na Figura 15. O acesso às funcionalidades é facilitado por interface gráfica, embora exista a possibilidade de algumas programações por códigos (CHWIF *et al.* 2015).

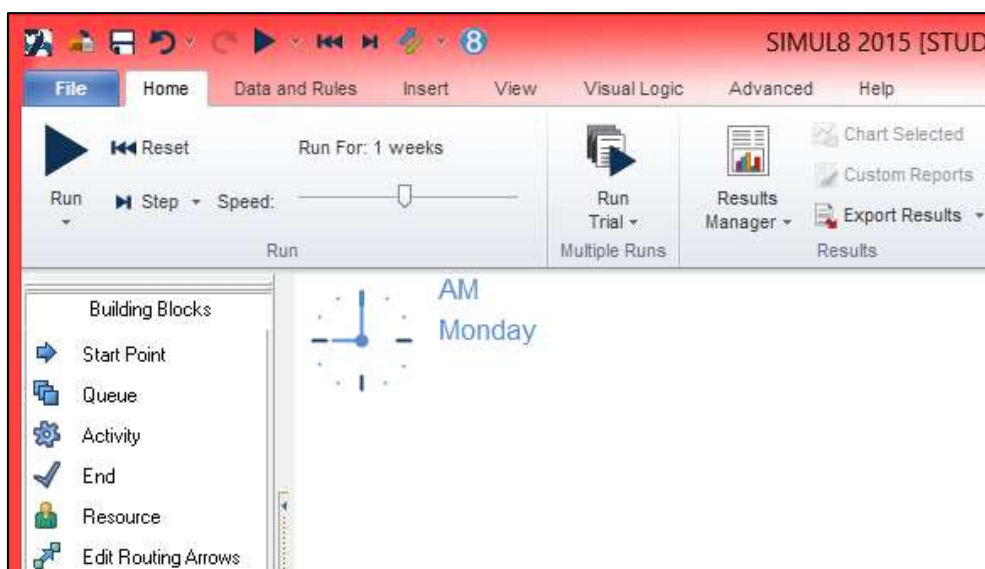


FIGURA 15: INTERFACE INICIAL DO SIMUL8.

FONTE: A autora.

O software trata entidades como os itens a serem processados, atividades como as atividades de processamento e recursos como itens necessários à

produção em uma determinada atividade. Os recursos podem ser dedicados à uma atividade exclusiva ou compartilhados paralelamente ou em série por mais de uma atividade. É possível escolher estatisticamente as características dos dados de entrada e os processos de cada atividade. O software possui ferramentas para tratamentos de inúmeras especificações do sistema real, possibilitando a modelagem dos sistemas mais complexos (CHWIF *et al.* 2015).

Os elementos principais de modelagem do software SIMUL8® são (CHWIF *et al.* 2015):

- Entidade (*Work Item Type*): entidades que entram no sistema para serem transformadas. Normalmente as entidades entram no sistema, passam por um determinado fluxo e deixam o sistema.
- Chegada (*Start Point*): ponto de entrada das entidades no sistema, o qual deve ser configurado segundo uma distribuição de probabilidades adequada para representar a taxa de chegada das entidades no sistema.
- Fila (*Queue*): as filas são passivas e servem para armazenar entidades à espera de um processamento. A espera em fila ocorre quando a entidade aguarda o término de uma atividade em andamento ou porque antes de iniciar a atividade é necessária a disponibilidade de um recurso ou chegada de outro elemento.
- Processo ou atividade (*Activity*): As atividades do sistema representam todos os tipos de processo que podem transformar ou não as entidades, mas sempre as retiram de uma fila e, ao fim da atividade, as encaminham a outra.
- Saída (*End*): o ponto de saída é o final do fluxo da simulação e todas as entidades que chegam ao final do fluxo estão completas do ponto de vista de processamento.
- Recurso (*Resource*): Os recursos representam todos os itens que possibilitam e/ou auxiliam uma atividade, tais como, máquinas, funcionários, estações de trabalho, entre outros.

Maiores detalhes sobre as ferramentas do software utilizadas no desenvolvimento do trabalho serão apresentadas no Capítulo 5 juntamente com a descrição da implementação do modelo computacional.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Segundo Gil (2008) a metodologia deve definir as abordagens, técnicas e processos utilizados pela ciência buscando resolver problemas gerando conhecimento de forma sistemática.

Este capítulo descreve a metodologia de pesquisa pretendida para o presente estudo. Na primeira seção é apresentado o delineamento da pesquisa. A segunda seção descreve as técnicas que pretende-se adotar para atingir os objetivos geral e específicos propostos no primeiro capítulo. A terceira seção apresenta os protocolos de coleta de dados, as ferramentas e instrumentos utilizados na pesquisa.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O fluxograma apresentado na Figura 16 resume a classificação da pesquisa em relação à abordagem adotada, à natureza, aos objetivos de pesquisa e aos procedimentos a serem adotados, que será justificada a seguir.

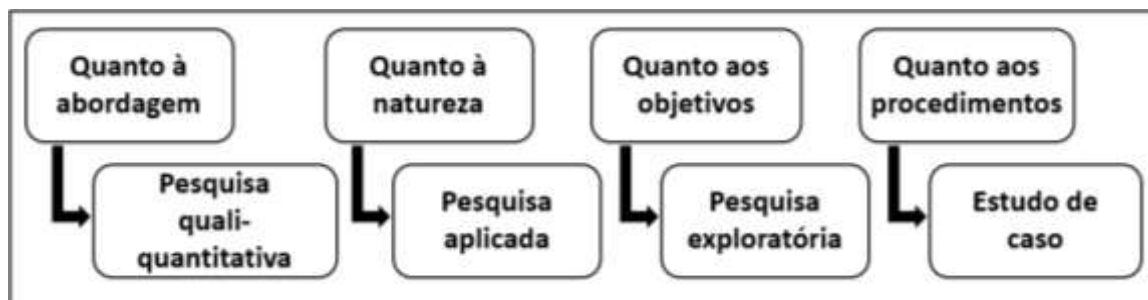


FIGURA 16: CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.

FONTE: A autora.

Quanto à abordagem a presente pesquisa é mista, classificada como quali-quantitativa. Qualitativa, uma vez que busca entendimento de um fenômeno de causa e efeito entre variáveis com objetivo de produzir novas informações. Quantitativa pois a avaliação de desempenho pretende apresentar indicadores numéricos associados à performance do sistema (MATTAR, 1996).

A pesquisa é classificada como aplicada, quanto à sua natureza, uma vez que foi motivada pela solução de problemas operacionais reais e práticos, podendo contribuir teoricamente com “novos fatos para o planejamento de novas pesquisas ou mesmo para a compreensão teórica de certos setores do conhecimento” (FERRARI, 1982).

Quanto aos objetivos é uma pesquisa exploratória, estando em fase preliminar e objetivando gerar conhecimento sobre o tema abordado. Segundo Gil (2008) a pesquisa exploratória “tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses” (GIL, 2008).

Quanto aos procedimentos, é um estudo de caso combinado à simulação computacional. O objetivo do estudo de caso é, segundo Mattar (1996), aprofundar conhecimento em uma área que ainda não foi suficientemente definida, visando, entre outras coisas, estimular sua compreensão. Conforme Yin (2015) o estudo de caso busca esclarecer os motivos que levaram à tomada de decisão em um determinado escopo, como elas foram implementadas e quais foram os resultados adotados. A simulação, segundo Pedgen *et al.* (1995) consiste no desenvolvimento de um modelo lógico capaz de representar uma realidade, buscando avaliar o desempenho do sistema real em variadas condições.

Miguel (2007) aponta o estudo de caso como um estudo de natureza empírica que busca investigar um fenômeno dentro de um determinado contexto real, buscando entender as fronteiras entre este fenômeno e o contexto, as quais não são ainda muito bem definidas.

3.2 PROCEDIMENTOS

A Figura 17 ilustra as etapas adotadas na execução desta pesquisa, detalhadas nas próximas seções, as quais foram determinadas combinando as metodologias de estudo de caso proposta por Miguel (2007) e de simulação proposta por Shwif e Medina (2015).

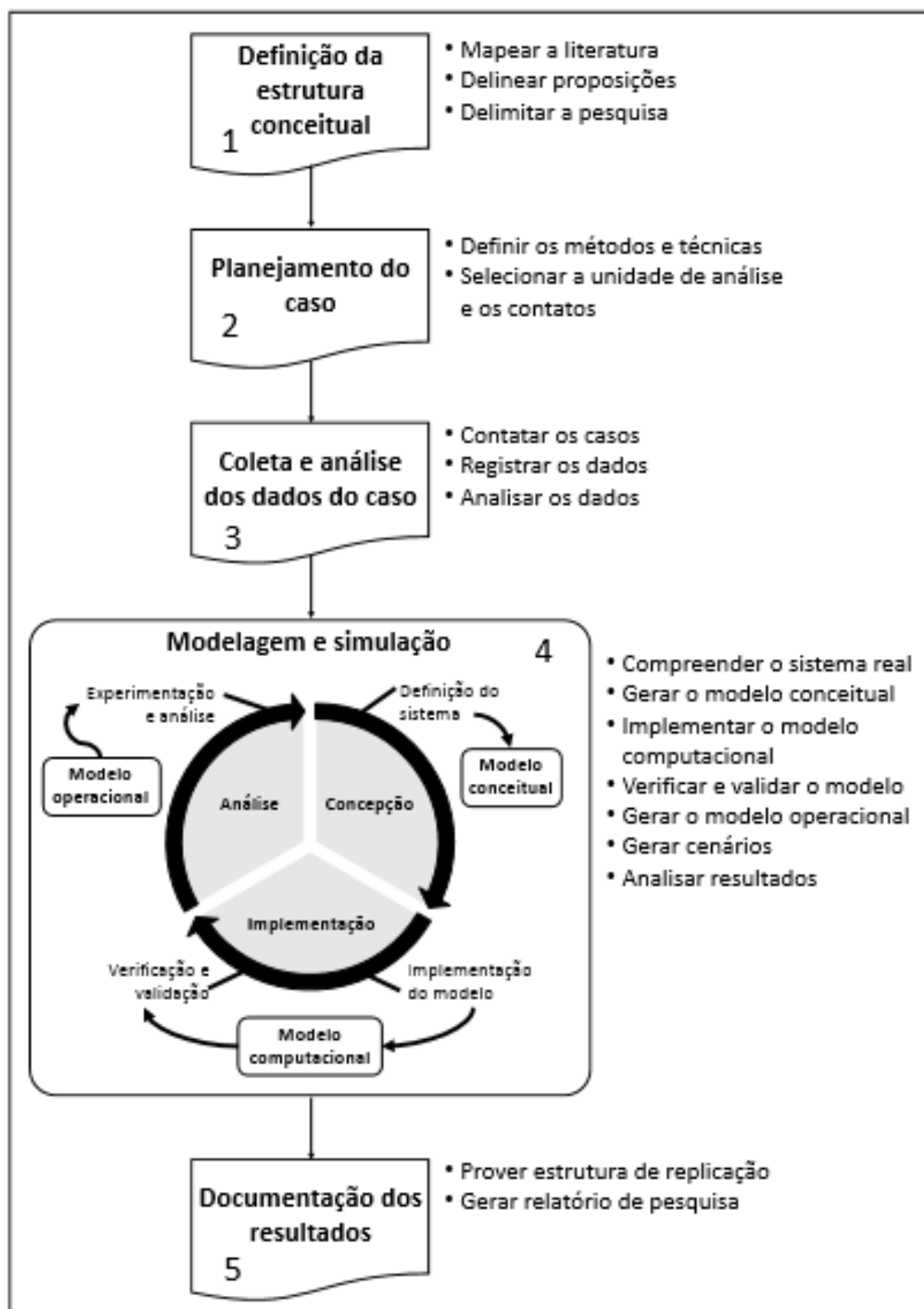


FIGURA 17: ETAPAS DA PESQUISA.

FONTE: A autora.

3.2.1 Definição da estrutura conceitual da pesquisa

A Definição da Estrutura Conceitual da Pesquisa foi dedicada à formulação da questão problema e dos objetivos aos quais a pesquisa busca atingir. Também ocorreu a delimitação da pesquisa, apresentando o escopo do problema e como será resolvido neste trabalho. Esta pesquisa pretende responder à seguinte questão: Qual o desempenho, em diferentes cenários, da gestão adotada em um sistema produtivo que utiliza as abordagens da produção puxada e empurrada de forma combinada?

Através de revisão bibliográfica foi realizado um estudo buscando o entendimento sobre os temas da pesquisa, relacionados aos conceitos e definições sobre planejamento da produção, programação puxada, empurrada e híbrida, avaliação de desempenho de sistemas produtivos, simulação e modelagem de eventos discretos, a qual foi apresentada no Capítulo 2.

3.2.2 Planejamento do caso

Uma vez identificado o problema de pesquisa, na etapa de Planejamento do Caso deve-se buscar definir a empresa a ser investigada no estudo de caso e os meios de coleta de dados. Foi escolhida uma empresa nacional de pequeno porte, sediada em Colombo - PR, fornecedora materiais didáticos para todo o território nacional. A escolha se deve às características da unidade produtiva que combina as programações empurrada e puxada em um sistema híbrido. O contato da empresa responsável por fornecer informação acerca do seu planejamento e controle da produção é o Coordenador de PCP.

Para coleta de dados são utilizadas análise documental de relatórios internos fornecidos pela empresa e entrevista não estruturada com o Coordenador de PCP em visita ao local, visando avaliar conceitualmente o sistema produtivo.

3.2.3 Coleta e análise dos dados do caso

A coleta dos dados de uma pesquisa científica, segundo Marconi e Lakatos (2010) pode ser realizada através de pesquisa documental e consulta à fontes primárias ou pesquisa bibliográfica. A coleta de dados deste trabalho é realizada em uma pesquisa de campo, que os autores descrevem como aquela realizada objetivando obter informações e/ou conhecimento acerca do problema de pesquisa através da observação de fenômenos reais.

Os dados qualitativos referentes ao funcionamento do sistema produtivo devem ser coletados em visita ao local, por meio de questionário com o Coordenador de PCP e diagnóstico do processo produtivo em operação na ocasião.

Os dados quantitativos referentes às variáveis não controladas do sistema, que possibilitaram a sua modelagem, devem ser coletados de documentos e registros fornecidos pela empresa.

Todos os dados coletados devem ser registrados para serem utilizados na formulação do modelo conceitual do sistema.

3.2.4 Modelagem e simulação

Colhidos os dados qualitativos e quantitativos que caracterizam o sistema produtivo, deve ser iniciada a etapa de modelagem e simulação, dividida em três fases: concepção, implementação e análise.

Durante a concepção será gerado um modelo conceitual do sistema definido na coleta de dados. Este modelo conceitual deve ser aprovado pelo Coordenador de PCP da empresa de estudo, validando as suas características frente ao sistema real.

A implementação do modelo de simulação será realizada através do Software SIMUL8®. Após a criação do modelo computacional e sua verificação quanto ao bom funcionamento, este deve ser executado com dados históricos

do caso, visando validar a sua representatividade frente ao sistema real. Ajustes podem ser necessários e o modelo só poderá ser utilizado para análise de desempenho quando estiver validado.

Uma vez validado o modelo computacional devem ser criados diferentes cenários, nos quais pode-se alterar as variáveis controláveis, o que possibilita avaliar o desempenho do sistema produtivo.

3.2.5 Documentação dos resultados

Finalmente, na última etapa, deve-se documentar todo o processo executado na pesquisa, apontar os resultados obtidos e identificar possíveis melhorias e futuros estudos pertinentes relacionados ao tema de pesquisa.

3.3 INSTRUMENTOS E FERRAMENTAS

Ao longo da implementação da pesquisa, para alcançar todos os objetivos específicos propostos, são utilizados protocolos de coleta de dados, instrumentos e ferramentas, os quais são descritos no Quadro 6.

As etapas da pesquisa referentes à sua implementação são a terceira e quarta, de coleta e análise dos dados do caso e modelagem e simulação, respectivamente.

Para o estudo de caso será realizada uma pesquisa de campo que buscando documentar, com a maior quantidade de detalhes possível, o processo produtivo da empresa em estudo, visa relacionar os conceitos estudados ao longo do referencial teórico com as práticas da indústria.

Uma vez detalhado o sistema produtivo, são gerados os modelos conceitual e computacional que representam o ambiente de produção, os quais devem ser validados. Para validação é necessária uma segunda visita em campo, para constatar que o modelo representa o sistema real, através de

observações e entrevista não estruturada com o Coordenador de PCP. Uma vez validados os modelos inicia-se a simulação que permite análise dos dados.

Objetivo específico		Instrumentos de coleta de dados	Etapa da pesquisa
1	Realizar a modelagem conceitual de um sistema de produção real da indústria gráfica através de um estudo de caso.	Observação do sistema real; Questionário ao coordenador de PCP; Registro das informações obtidas.	Etapa 3 - Coleta e análise dos dados do caso.
2	Desenvolver um modelo de simulação, utilizando o software SIMUL8®, representando o sistema do modelo conceitual.	Análise documental para parametrização do modelo computacional: dados estatísticos dos processos, tempos de processamento, quantidade de pedidos; Pesquisa bibliográfica para inferência da distribuição de probabilidade dos tempos de processos e frequência de chegada de pedidos; Modelagem computacional.	Etapa 4 – Modelagem e simulação.
3	Validar a representatividade do modelo de simulação frente ao sistema real;	Observação do sistema real; Questionário ao coordenador de PCP.	Etapa 4 – Modelagem e simulação.
4	Desenvolver os modelos em abordagem empurrada, puxada e híbrida;	Pesquisa bibliográfica; Modelagem computacional.	Etapa 4 – Modelagem e simulação.
5	Definir as variáveis de decisão e os indicadores de desempenho do modelo de simulação;	Pesquisa bibliográfica; Observação do sistema real; Modelagem computacional.	Etapa 4 – Modelagem e simulação.
6	Simular diferentes cenários de programação da produção;	Simulação computacional.	Etapa 4 – Modelagem e simulação.
7	Analisar os cenários de simulação frente às variáveis de decisão, comparando os resultados dos indicadores de desempenho nos diferentes ambientes.	Análise do sistema proposto.	Etapa 4 – Modelagem e simulação.

QUADRO 6: FERRAMENTAS E MÉTODOS UTILIZADOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA PESQUISA.

Fonte: a autora.

Os questionários a serem aplicados ao coordenador de PCP da empresa são apresentados no Apêndice 3.

4 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA EM ESTUDO

Este capítulo apresenta o setor da indústria gráfica e alguns trabalhos relacionados ao setor, os processos produtivos comuns na indústria gráfica e a caracterização da empresa em estudo e seu processo produtivo atual, o qual será utilizado para modelagem conceitual e computacional que serão apresentadas no Capítulo 5.

4.1 O SETOR DA INDÚSTRIA GRÁFICA

Segundo a Associação Brasileira de Indústria Gráfica – ABIGRAF, em 2014 o setor movimentou 45,8 bilhões de reais, com uma participação de 0,3% no PIB nacional e de 3% na indústria de transformação industrial, evidenciando sua importância econômica e a necessidade de aprimoramentos em seus processos (ABIGRAF, 2015).

Conforme pesquisa realizada pela ABIGRAF (2015) as empresas de micro e pequeno porte representam cerca de 97% do setor, seguidas pelas de médio porte com 2,6% e as de grande porte com 0,5% apenas. Segundo o SEBRAE (2016), são consideradas indústrias de pequeno porte aquelas que possuem entre 20 e 99 colaboradores, categoria em que se enquadra a gráfica utilizada neste estudo.

O setor da indústria gráfica brasileira é segmentado de acordo com os produtos, os quais incluem embalagens com participação de 40%, publicações com 29%, impressos promocionais com 10% e outros produtos que compõem o restante da participação, como documentos fiscais, formulários, etiquetas, cadernos, cartões e envelopes (ABIGRAF, 2015).

Um estudo setorial da indústria gráfica no Brasil, realizado pela ABIGRAF (2009) mostrou o nível médio de utilização da capacidade instalada em fábrica nos anos de 2006 a 2008, em cada região do país, conforme apresentado no Quadro 7.

REGIÃO	ANO		
	2006	2007	2008
Norte	63,5%	63,6%	70,4%
Nordeste	77,2%	75,6%	77,4%
Sudeste	76,6%	77,1%	79,3%
Sul	74,0%	78,5%	82,5%
Centro-oeste	67,8%	68,9%	70,4%
Média total	75,1%	77,0%	79,9%

QUADRO 7: NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA NAS GRÁFICAS POR REGIÕES DO BRASIL.

Fonte: ABIGRAF, 2009.

O estudo realizado em 2009 evidenciou um aumento no nível de utilização da capacidade instalada em fábrica em todas as regiões do país ao longo dos anos investigados, resultante do aumento de demanda e de realizações de melhorias nos processos. Segundo informações divulgadas no estudo, o setor vem passando por aportes em sua modernização e capacitação e há crescimento do mercado consumidor ainda em momentos de crise econômica, como a enfrentada em 2008 (ABIGRAF, 2009).

Sobre os custos envolvidos na produção, a ABIGRAF (2009) afirma:

- a) O custo médio do papel transformado (após tratamento, corte e impressão) sobre o preço do produto final é de 41%, em média;
- b) Os tributos variam conforme o porte da empresa, enquadramento e incentivos fiscais conforme a localização da empresa, entre 5 a 30% da receita bruta.

Uma pesquisa junto às empresas gráficas revelou suas principais preocupações e estratégias visando melhor atender ao consumidor. Entre elas estão (ABIGRAF, 2009):

- a) Redução no prazo de entrega dos pedidos (10,7% das empresas);
- b) Aumento da verticalização na pré-impressão e no acabamento (7,5%);
- c) Melhoria da qualidade do produto e do atendimento (7%);
- d) Domínio da tecnologia digital na pré-impressão e na impressão (6,8%);

- e) Diversificação de soluções de alta, média e baixa tiragens (4,9%);
- f) Serviços diferenciados de impressão, em formato e em gramatura (5,1%).

Segundo Zattar (2010) o aumento de investimento no setor demonstra a sua competitividade, evidenciando a importância de adoção de técnicas de aperfeiçoamento e aumento de eficiência dos seus processos.

4.2 PROCESSOS PRODUTIVOS DA INDÚSTRIA GRÁFICA

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente - APA (2009) o processo de produção das gráficas, independentemente dos tipos de máquinas e seus detalhes, é dividido em três etapas principais: pré-impressão, impressão e pós impressão, conforme ilustrado na Figura 18.

Na 'pré-impressão' são realizadas todas as atividades que antecedem a impressão. Incluem-se nesta etapa as atividades de tratamento das imagens, para que possam ser reproduzidas no material de impressão conforme os requisitos editoriais. As imagens podem ser provenientes dos clientes externos ou confeccionadas em uma editora na própria gráfica. O tratamento das imagens, por vezes, também pode ser terceirizado ou uma operação interna.

O tratamento da imagem, além de edição, inclui a fotocomposição e, em alguns casos, a produção do fotólito. A fotocomposição é a composição tipográfica por projeção de símbolos e caracteres sobre o papel ou filme de reprodução fotossensível. A produção do fotólito, consiste na impressão do material em uma chapa metálica, a qual é utilizada para reprodução do conteúdo nos papéis. Uma alternativa à produção dos fotólitos é tecnologia de gravação digital a laser, conhecida como *Computer to plate*, que torna o processo mais rápido, além de reduzir os impactos ambientais da operação de impressão por fotólitos que utiliza soluções ácidas e alcalinas, solventes orgânicos e metais pesados. Após o tratamento da imagem a chapa deve ser preparada para receber as tintas de impressão e então pintada em relevos com tinta espessa. São realizados testes de impressão que irão garantir a conformidade do material

gerado com as especificações, antes de gerar uma impressão em série de muitas unidades (APA, 2009).

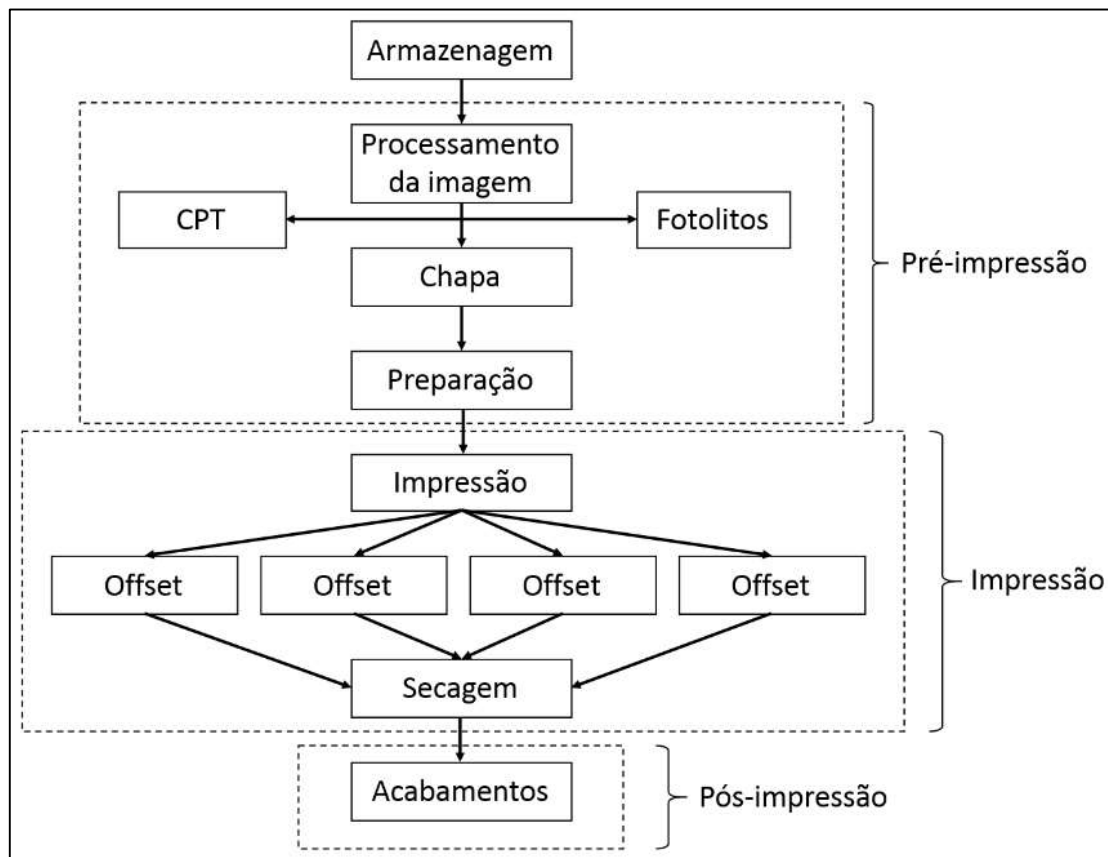


FIGURA 18: PRINCIPAIS PROCESSOS DA INDÚSTRIA GRÁFICA.

Fonte: Agência Portuguesa do Meio Ambiente (2009)

Segundo APA (2009) a etapa de ‘impressão’ pode ser de algumas formas diferentes, de acordo com o material a ser impresso, a qualidade e a quantidade desejadas. A impressão convencional, que utiliza as chapas é preferível em grandes tiragens, enquanto a digital é indicada em tiragens baixas e com necessidade de personalização em poucas unidades.

A impressão *offset* utiliza água e tinta para delimitar as áreas de impressão e as que não devem ser impressas. Nas áreas da matriz cobertas por água não deposita-se tinta, sendo esta depositada apenas nas áreas próprias de grafismo, (APA, 2009).

A impressão tipográfica utiliza o relevo na imagem em nível mais alto que o não colorido, e a tinta é aplicada através de pincel no alto relevo formando um

carimbo. É o método mais antigo de impressão e existem pelo menos três tipos de impressora tipográfica: vertical automática, horizontal automática e prensa rotativa, os quais diferem entre si pela forma como o papel é levado à superfície de contato com a tinta (APA, 2009).

A impressão por rotogravura é utilizada em rótulos e revistas de alta qualidade em produções de grande escala, por ser um processo de custo elevado. A gravação é realizada através de baixos relevos os quais perfurados permitem a passagem da tinta por um cilindro que ao ser pressionado ao material de impressão transmite a tinta em movimento rotativo (APA, 2009).

A serigrafia utiliza o processo de estêncil, no qual uma tela de poliéster *nylon* com a imagem desenhada é presa em um quadro e a tinta é colocada por cima dele e o suporte para impressão abaixo pressionando a saída de tinta pela tela contra o papel (APA, 2009).

Após a impressão o papel precisa passar pela secagem que, em muitos casos é instantânea, com exceção de algumas tintas que exigem um processo mais longo e diferenciado devido a sua densidade.

Na etapa de 'pós-impressão' o material pode passar por acabamentos como cortes, encadernações, ou até mesmo inspeção da qualidade do material, e então são embalados e destinados às áreas de estoque e expedição de acordo com o planejamento da indústria.

Segundo a APA (2009), os processos de produção da indústria gráfica dependem de um adequado planejamento da produção, com alocação de recursos e matérias primas visando atender o fluxo produtivo e o controle de qualidade dos processos.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA GRÁFICA EM ESTUDO

A gráfica estudada neste trabalho está localizada em Colombo, na região metropolitana de Curitiba no Paraná. Suas instalações contam com um parque gráfico construído em um galpão de 3.500 m², com máquinas e tecnologias japonesas e alemãs. Sua produção é voltada predominantemente a materiais

didáticos, desenvolvidos por uma editora do próprio grupo, porém instalada em outra localização.

Seus materiais didáticos são utilizados por cerca de 120 mil estudantes de escolas públicas e privadas em todo o território nacional. Sua produção anual gira em torno de 800.000 unidades de apostilas didáticas e a empresa possui uma previsão de dobrar o volume de produção até o final de 2016. Atualmente emprega 45 colaboradores nas operações diretas de produção.

4.3.1 A unidade produtiva

A natureza dos produtos é predominante de bens de consumo que, segundo Tubino (2009) são tangíveis e podem ser estocados, embora também forneça serviços que são intangíveis.

O produto principal é composto de apostilas didáticas padronizadas para os ensinos básico, fundamental e médio e para pré-escola. Cada modelo é reproduzido uma vez por ano, de acordo com os quatro bimestres letivos, em quantidades estimadas por previsão de demanda. A empresa entrega também serviços de edição gráfica para produtos parcialmente personalizados, os quais contém o mesmo conteúdo didático que seus produtos padronizados, porém, capas personalizadas de acordo com as necessidades dos clientes. Os produtos personalizados são finalizados apenas após fechamento de pedido por parte dos clientes.

Quanto ao grau de padronização dos produtos, a empresa possui alto nível de variedade uma vez que tem uma grande quantidade de produtos em seu *mix* e ainda customiza parte dos seus produtos de acordo com as necessidades do cliente. A variedade dos produtos pode ser em números de páginas, tamanhos das folhas, conteúdo didático, tipo de encadernação, quantidade de dobras dos cadernos, material utilizado nas folhas e capas e cores. Embora a variedade de modelos seja alta, todos eles passam pelas mesmas etapas de produção, variando apenas os tempos dispendidos em cada etapa, em função da quantidade de páginas, e a chapa de impressão que é específica para cada modelo e reaproveitável para duas aplicações. Normalmente, cada modelo de

produto é processado uma vez ao ano apenas, logo, cada chapa de impressão dura aproximadamente dois anos.

Portanto, embora a empresa possua alto nível de variedade em seus produtos, seu teor é sempre o mesmo, possuindo baixa variedade na linha de produção o que, segundo Slack *et al.* (2007) caracteriza como uma produção bem definida, padronizada, regular e cujo custo unitário tende a ser baixo.

Quanto ao tipo de operação é repetitivo em lotes, conhecido também como *flowshop*, no qual, segundo Tubino (2009), cada conjunto de produtos que forma o lote segue uma sequência específica de operações em uma linha de produção. Segundo o autor esta é uma operação flexível tanto quanto a variedade de produtos, como nas alterações da demanda, uma vez que o tamanho dos lotes pode variar ao longo da linha de produção. Normalmente as operações produtivas internas possuem baixa sincronização o que leva muitas vezes à adoção de altos níveis de estoque de produtos em processo.

Nas operações em lote, segundo Tubino (2009), a programação da produção tem como objetivo organizar o sequenciamento das ordens de produção, reduzindo estoques e *lead time* tanto na abordagem empurrada como na puxada. O autor coloca ainda que, na programação empurrada os tamanhos dos lotes são determinados pela previsão da demanda e na puxada é determinado pelo pedido dos clientes, assim como ocorre na empresa em estudo.

Quanto ao ambiente de produção é misto com parte da produção para estoque (*make-to-stock*) e parte da montagem sob pedido do cliente (*assembly-to-order*). Pires (1995) descreve o ambiente *make-to-stock* – MTS, como a produção baseada em previsões de demanda, sem personalização dos produtos, no qual o produto fica disponível em estoque de produtos acabados para pedido do cliente em pronta entrega, conforme ocorre com parte dos produtos entregues pela empresa.

O ambiente *assembly-to-order* - ATO, Pires (1995) descreve como a fabricação de subprodutos sob previsão de demanda e a montagem final é realizada apenas mediante fechamento do pedido do cliente, podendo ser personalizado, conforme ocorre com as apostilas didáticas que são finalizadas

com capas customizadas pelo cliente. Segundo o autor, nestes ambientes, a entrega de produtos tende a ser de médio prazo e as incertezas da demanda devem ser gerenciados pelo excesso no dimensionamento do estoque de subprodutos e da capacidade das áreas de montagem final.

O Quadro 8 apresenta um resumo da caracterização da empresa quanto à natureza dos produtos, a padronização das atividades e produtos, tipo de operação e ambiente de produção.

Tipo de Classificação	Caracterização da empresa
Natureza dos produtos	Predominantemente bens de consumo: material didático.
Grau de padronização dos produtos	Produtos com alta variedade e personalizados.
Grau de padronização dos processos	Processo produtivo padronizado: todos os tipos de produtos passam pelas mesmas atividades.
Tipo de operação	Operações em lotes – <i>flowshop</i> .
Ambiente de produção	Parte feito para estocar (<i>Make-to-stock</i> – MTS) e parte montado sob pedido (<i>Assembly-to-order</i> - ATO).

QUADRO 8: CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA EM ESTUDO.

Fonte: a autora

Nas próximas seções serão descritos os detalhamentos dos processos produtivos, ilustrando a classificação apresentada.

4.3.2 Instalações produtivas do parque gráfico

O diagrama da Figura 19 ilustra a estrutura produtiva do parque gráfico, cujos processos serão descritos a seguir. Nesta ilustração são mostrados os ambientes de produção e armazenagem de material, sendo desconsideradas as áreas administrativas e de infraestrutura para os colaboradores.

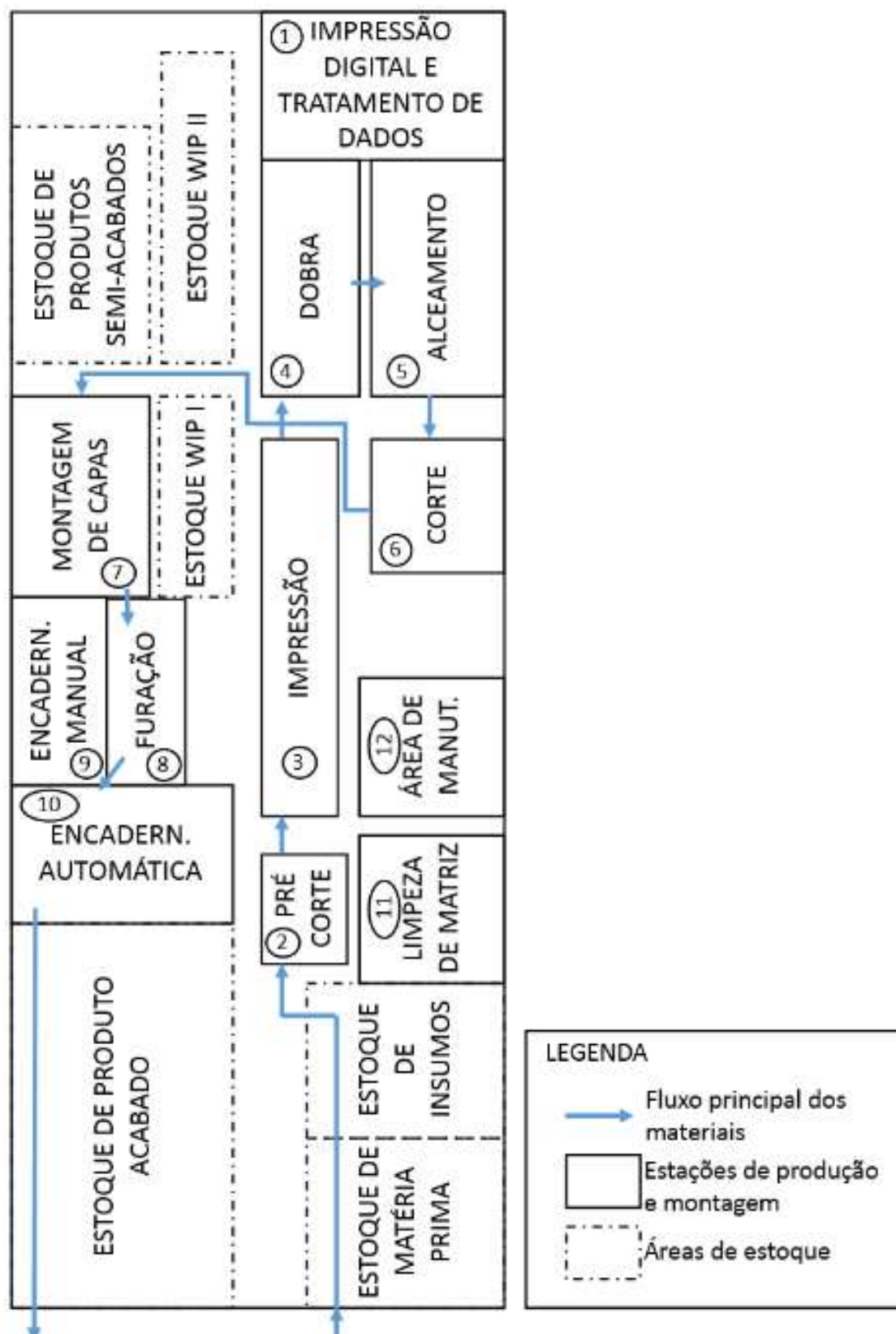


FIGURA 19: PLANTA PRODUTIVA DO PARQUE GRÁFICO EM ESTUDO.

Fonte: a autora.

Seis áreas de estoque armazenam todo o material constante em fábrica, desde matéria prima, insumos, produtos em processo (WIP I e II) e produtos semiacabados e acabados:

- Estoque de matéria prima: armazenagem de papeis, a principal matéria prima para produção na gráfica;
- Estoque de insumos: armazenagem de toners de tinta, arame para espirais de encadernação e demais insumos para produção, como equipamentos de proteção individual, ferramentas descartáveis e materiais para limpeza e escritório;
- Estoque WIP I: armazenagem de capas das apostilas personalizadas;
- Estoque WIP II: armazenagem de corpo e capas de apostilas montadas aguardando a encadernação;
- Estoque de produtos semiacabados: armazenagem de cadernos de apostilas aguardando pedido dos clientes para customização e montagem final;
- Estoque de produtos acabados: armazenagem de produtos acabados, embalados e prontos para despacho ao cliente quando houver demanda.

A empresa mantém estoque de matéria prima e insumos para atender pelo menos três meses de produção, por se tratar de produtos não perecíveis e de armazenamento economicamente viável.

O ambiente produtivo do parque gráfico possui 12 estações de produção, incluindo fabricação de componentes e montagens intermediárias e final do produto, as quais possuem as características apontadas no Quadro 9.

Estação	Funcionamento	Capacidade	Recursos	Setup
1 - Impressão digital e tratamento de dados	A impressão digital é utilizada para produtos de baixa tiragem, em paralelo ao processo produtivo de impressão <i>offset</i> . O tratamento de dados consiste em verificar o material enviado pela editora e, se necessário, adequar aos parâmetros da gráfica.	Varia de acordo com a demanda	2 impressoras digitais 1 computador 1 operador Conexão de rede internet	Varia em função do produto
2 - Pré-corte	A guilhotina é utilizada para alinhar as bordas do papel bruto de acordo com o caderno a ser impresso. A entrada do processo é o papel bruto e a saída é papel alinhado. A guilhotina é alimentada e esvaziada pelo mesmo operador.	0,5 tn/h	1 guilhotina 1 operador	Instantâneo
3 - Impressão	A impressão é realizada com duas impressoras <i>offset</i> de 4 cores em linha, possibilitando a impressão frente e verso em sequência. Dois operadores em sincronia devem alimentar a primeira máquina para impressão da frente do papel, e puxar a sua saída para a segunda máquina que faz a impressão no verso. As chapas de impressão devem ser preparadas especificamente para o modelo do produto e podem ser reutilizadas uma segunda vez.	12.000 folhas/h	2 impressoras em linha 2 operadores 2 chapas de impressão	12 min
4 - Dobra	Após a impressão o papel é dobrado em cadernos que deverão compor as apostilas em ordem de paginação. O produto deste processo são cadernos contendo um conjunto de páginas em cada. Um operador e um auxiliar realizam sua configuração, alimentação e esvaziamento.	15.000 folhas/h	2 dobradeiras 1 operador 1 auxiliar	10 min

5 - Alceamento	O alceamento dos cadernos consiste em juntar as partes na ordem adequada da paginação. As capas de apostilas para estoque são colocadas nesta etapa. O processo conta com 24 baias paralelas e a quantidade de baias utilizadas depende do tamanho do lote.	1400 apostilas/h	24 baias paralelas 1 operador para cada 8 baias 1 auxiliar para cada 8 baias	20 min
6 - Corte	Após o alceamento, a apostila já se encontra com todas as suas páginas e deve ser cortada a borda da dobra que liga os cadernos, tornando as folhas soltas e alinhadas.	500 apostilas/h	1 guilhotina 1 operador 1 auxiliar	Instantâneo
7 - Montagem de capa	A produção das capas é realizada em paralelo aos demais processos e utiliza os mesmos recursos produtivos em seus tempos de ociosidade. Capas de apostilas padronizadas são processadas junto ao cadernos. A montagem final consiste em encaixar capa e cadernos, finalizando a montagem das apostilas apenas nos produtos personalizados.	Não definida	2 operadores	Operação manual, não possui tempo de setup
8 - Furação	A furação é realizada apenas quando é utilizada a encadernação manual e consiste em furar as bordas das apostilas para receber o espiral.	Não definida	2 furadeiras manuais 10 operadores	Operação manual, não possui tempo de setup
9 - Encadernação manual	A encadernação manual é utilizada apenas para produção de baixa tiragem (lotes menores que 1.000 unidades) e consiste em colocar os espirais nas apostilas utilizando uma máquina manual.	Não definida	5 espiraladeiras manuais 5 operadores 4 auxiliares	Operação manual, não possui tempo de setup
10 - Encadernação automática	Na encadernação automática os processos de furação, produção de espirais e sua colocação nas apostilas são realizados automaticamente. O operador deve configurar a máquina e auxiliares alimentá-la.	650 apostilas/h	1 espiraladeira automática 1 operador 2 auxiliares	24 h

11 - Limpeza de matriz	A limpeza de matriz consiste em limpar a chapa de impressão e armazená-la para ser utilizada no ano seguinte.	Não definida	1 operador	Operação manual, não possui tempo de setup
12 - Área de manutenção	Na área de manutenção são realizadas atividades mecânicas em ferramentas, trocas de óleos, limpeza e preenchimento de toners de tinta, entre outras.	Não definida	Aparelhos de manutenção Equipe não definida	Operação manual, não possui tempo de setup

QUADRO 9: DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS DA GRÁFICA EM ESTUDO.

Fonte: a autora

Nos processos de pré-corte e corte, por se tratarem de equipamentos cuja configuração fica gravada em memória na máquina, os tempos de setup são apenas para seleção do modo de operação que é realizada em segundos pelo operador. Dessa forma podem ser desconsiderados no montante de tempo total da produção, logo, são chamados instantâneos.

Não são definidas as capacidades de alguns processos pois dependem de diversos fatores como a disponibilidade de operários e urgência da operação. Da mesma forma, a equipe de manutenção não é definida pois são operações imprevistas e dependem da necessidade e urgência da manutenção.

Os ambientes administrativos e de atividades auxiliares aos colaboradores, como refeitórios e áreas sociais convivência não serão apresentados por não se tratarem de etapas produtivas.

Foram apresentadas todas as estações de armazenamento, fabricação e montagem do processo produtivo e a próxima seção irá destacar a transformação da matéria prima em produto acabado e o fluxo de produção.

4.3.3 Fluxo do processo produtivo

Ao longo do processo atravessam dois tipos de produtos: os produtos MTS que são produzidos para estocar e os produtos ATO que são montados sob pedido do cliente. A Figura 20 ilustra a transformação de matéria prima em

produto acabado, sob a perspectiva dos materiais transformados, para os produtos MTS.

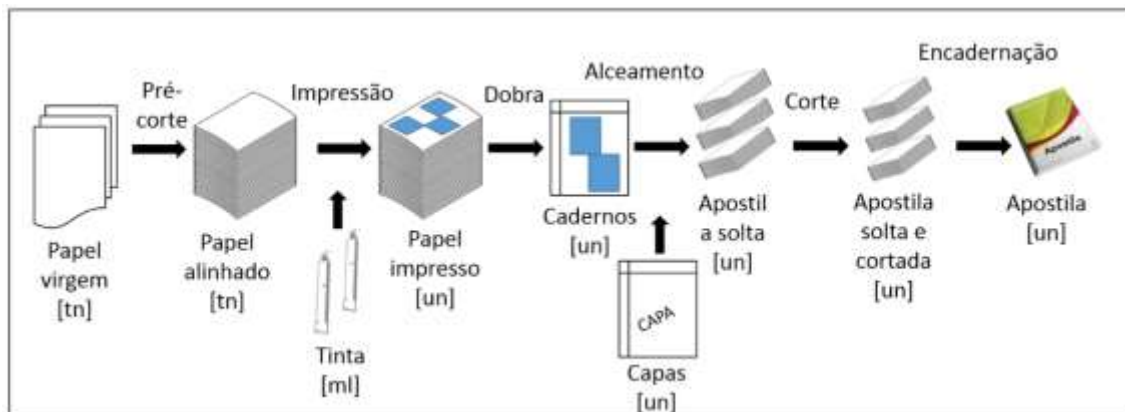


FIGURA 20: TRANSFORMAÇÃO DE MATÉRIA PRIMA EM PRODUTO ACABADO NOS PRODUTOS MTS.

Fonte: a autora.

A Figura 21 ilustra a transformação de matéria-prima em produto acabado, sob a perspectiva dos materiais transformados, para os produtos ATO.

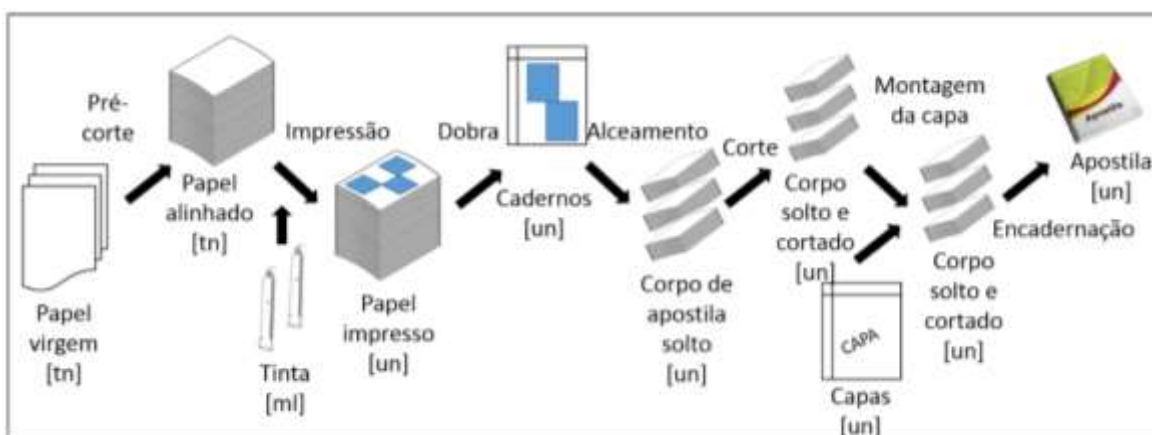


FIGURA 21: TRANSFORMAÇÃO DE MATÉRIA PRIMA EM PRODUTO ACABADO NOS PRODUTOS ATO.

Fonte: a autora.

A diferença entre os produtos na transformação das matérias-primas, sob a perspectiva dos materiais transformados, é que, enquanto nos produtos MTS a capa é unida ao corpo da apostila no processo de alceamento, nos produtos ATO a capa é inserida manualmente ao corpo em processo posterior ao corte final. Isto ocorre pois os produtos ATO possuem a capa personalizada, mediante fechamento de pedido do cliente final.

O processo produtivo é dividido em uma etapa completamente empurrada e outra etapa que combina as abordagens puxada e empurrada, conforme ilustra a Figura 22.

O departamento de PCP realiza previsão de demanda, baseada nas vendas históricas anuais. A previsão é realizada periodicamente nos quatro bimestres do ano. Com base na previsão são realizados a compra de matéria prima, o tratamento das artes gráficas dos produtos pela editora e a preparação das chapas de impressão.

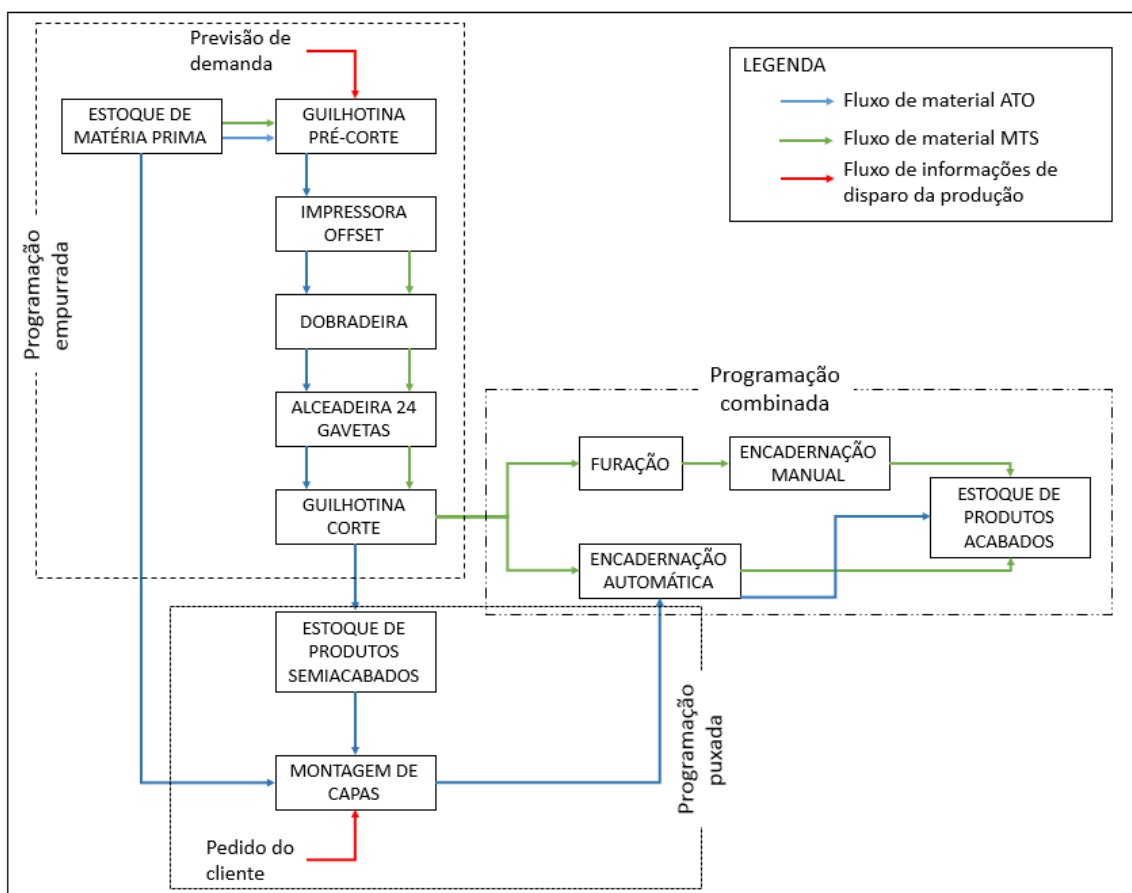


FIGURA 22: PROCESSO PRODUTIVO DA GRÁFICA EM ESTUDO.

Fonte: a autora.

Ao iniciar o processo produtivo o papel passa pelo processo de pré-corte, que alinha suas margens de acordo com o tamanho do caderno a ser impresso. O processo seguinte é a impressão que conta com duas máquinas em linha, possibilitando imprimir frente e verso do papel em sequência. Em cada impressora é necessário utilizar uma chapa de impressão que deve ser preparada

especificamente para o modelo do produto e pode ser reutilizada uma segunda vez até que seja dispensada. Como as produções de cada produto são anuais, a chapa fica em operação por até dois anos e depois deve ser substituída por uma nova chapa que deverá ser devidamente tratada.

Após a impressão o papel é dobrado em cadernos que deverão compor as apostilas já em ordem de paginação. Os cadernos e as capas passam pelo processo de alceamento que irá juntar as partes na ordem adequada da paginação. Logo após a ordenação dos cadernos, é realizado um corte no tamanho original da folha da apostila, com a finalidade de cortar as dobras do papel e alinhar as folhas. O corte final das apostilas é a última operação completamente empurrada na programação da produção.

É importante ressaltar que, parte dos produtos gerados até o processo de corte possuem capa que é processada em paralelo ao processamento das apostilas e aguardam as próximas etapas no estoque de produtos em processo. Parte dos produtos aguarda no estoque de produtos semiacabados sem capas, pois estas serão personalizadas sob pedido do cliente.

Para os produtos de prateleira, os quais são produzidos a partir de previsão de demanda, após o corte das apostilas, é realizada a sua encadernação que pode ser manual ou automática, de acordo com a dimensão do lote em produção. A encadernação manual exige antes o processo de furação. Na encadernação automática a furação é realizada na própria máquina. Já os produtos montados sob pedido devem passar por uma etapa de montagem da capa no corpo da apostila, e então passar para encadernação.

Após a encadernação todos os produtos são armazenados no estoque de produtos acabados em áreas específicas de expedição imediata ou de espera de fechamento de pedidos dos clientes.

Entende-se então que o processo produtivo real da empresa em estudo, descrito nesta seção, combina as abordagens puxada e empurrada da produção. Enquanto os produtos MTS seguem uma abordagem completamente empurrada na linha de produção, os produtos ATO seguem empurrados até o corte e aguardam em um estoque serem puxados para finalização do processo produtivo.

5 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Este capítulo apresenta as modelagens conceitual e computacional do sistema produtivo da gráfica em estudo, descrito no Capítulo 4, bem como a validação de ambos os modelos e sua verificação do computacional. Também são apresentados os modelos operacionais que constituem diferentes cenários para análise do sistema produtivo.

5.1 MODELAGEM CONCEITUAL

A modelagem conceitual implica em uma abstração do sistema produtivo real, descrito no Capítulo 4, buscando representar os processos relacionados ao problema de pesquisa que é a avaliação de desempenho de sistemas cuja programação da produção é puxada, empurrada ou híbrida, em termos dos tempos produtivos e dos níveis de material em processo. São estabelecidas algumas considerações sobre o modelo conceitual:

- No sistema real a matéria prima é estocada comumente para atender pelo menos três meses de produção, portanto, o recebimento de matéria prima não será restritivo ao início da produção, ou seja, considera-se que sempre há matéria prima disponível para produzir. Considera-se também que, a matriz de impressão está sempre disponível pela mesma razão.
- Optou-se por modelar apenas a produção de alta tiragem, foco principal da produção da empresa em estudo, caracterizada por lotes com mais de mil unidades.
- Das 12 estações de produção, serão consideradas apenas 6 no modelo conceitual, conforme descrito em sequência.
- A estação de impressão digital e tratamento dos dados não será modelada, uma vez que ela não interfere no desempenho em termos dos tempos produtivos e dos níveis de material em

processo na transformação de matéria prima em produto acabado na linha de produção.

- Os processos de furação e encadernação manuais não serão considerados pois são utilizados apenas em produção de baixa tiragem.
- Não serão considerados procedimentos de manutenção, já que são procedimentos realizados em turnos e horas extras e não no turno de produção.
- Não será considerado o processo de pré-corte pois, além de não ser executado em todos os tipos de papeis utilizados para impressão, apenas nos que apresentam rebarbas, é um processo cujo tempo é pequeno em relação ao restante da produção, não representa um recurso gargalo e é realizado em paralelo à produção em linha na gráfica.
- A limpeza de matriz não será considerada como processo, por se tratar de um processo paralelo à linha produtiva que não utiliza os mesmos recursos.
- Serão considerados como processos produtivos do sistema as atividades de impressão, dobra de folhas, alceamento de cadernos, corte, montagem das capas e encadernação automática.
- Os processos de alceamento e corte serão considerados conjuntamente, uma vez que sempre são realizados em sequência, não formando estoques intermediários entre eles.
- Para modelagem do processo conjunto de alceamento e do corte, os tempos de processamento não serão somados, pois normalmente os processos ocorrem simultaneamente, tão logo um começa a encaminhar produtos ao outro, o que ocorre em segundos. Portanto, será considerado o tempo do maior processamento entre os dois como tempo total de processamento das duas atividades.
- A máquina alceadeira possui 24 gavetas que podem ser utilizadas simultaneamente, entretanto, só é possível processar o mesmo tipo de produto por vez. Ao utilizar a máquina, ela fica dedicada ao

processamento e as gavetas não utilizadas não ficam disponíveis para outro lote, portanto será considerada como uma máquina única.

- As duas impressoras são utilizadas em linha, uma para frente e outra para o verso do produto, portanto, será considerada uma impressora única.
- As duas dobradeiras são sempre utilizadas pelo mesmo lote constante na linha de produção, logo, caso no lote não seja necessário utilizar uma delas, ela não fica disponível para outro lote. Portanto será considerado uma única dobradeira cuja capacidade é a soma das capacidades individuais.
- Diante da grande variedade de produtos serão consideradas três classes de produtos distintas: apostilas para ensino básico, apostilas para ensino médio e material didático para crianças em pré-escola. Os três modelos escolhidos representam, em termos de suas características, o grande montante de diferentes produtos produzidos.
- Cada classe de produtos possui tempos médios e desvios padrões distintos na execução das atividades produtivas.
- As apostilas para ensino básico são produzidas em lotes de 12.000 unidades e são padronizadas, sendo fabricadas a partir de previsão de demanda e ficando disponíveis em estoque.
- As apostilas para ensino médio são produzidas em lotes de 1.100 unidades e são padronizadas, sendo fabricadas a partir de previsão de demanda e ficando disponíveis em estoque.
- O material didático para crianças em pré-escola é produzido em lotes de 4.000 unidades e possui capas personalizadas de acordo com os clientes, portanto, sua montagem final só é realizada mediante o fechamento do pedido de compra do cliente final.
- O sistema conta com 12 operadores que podem realizar qualquer uma das atividades pertinentes à classe de operadores, sendo compartilhados entre todas as atividades que dependem de operador.

- O sistema conta com 12 funcionários auxiliares que podem realizar qualquer uma das atividades pertinentes à classe de auxiliares, sendo compartilhados entre todas as atividades que dependem de auxiliar.
- As atividades administrativas e de limpeza não serão consideradas no modelo uma vez que não interferem no desempenho do sistema em termos de tempos de produção e níveis de materiais em processo.
- No sistema real os turnos são de 8 horas diárias 6 dias por semana, entretanto, apenas 5 dias por semana são dedicados à linha de produção. O sábado é dedicado a manutenções gerais, transporte de materiais, preparação de matéria prima e aquecimento das máquinas. Estas atividades não serão consideradas no modelo, portanto serão considerados turnos de 8 horas 5 dias na semana.

Para visualizar o processo a ser modelado conceitualmente, foi gerado um fluxograma, utilizando a simbologia padrão ANSI (*American National Standards Institute*) do fluxo de materiais ao longo da linha de produção, conforme ilustrado na Figura 23.

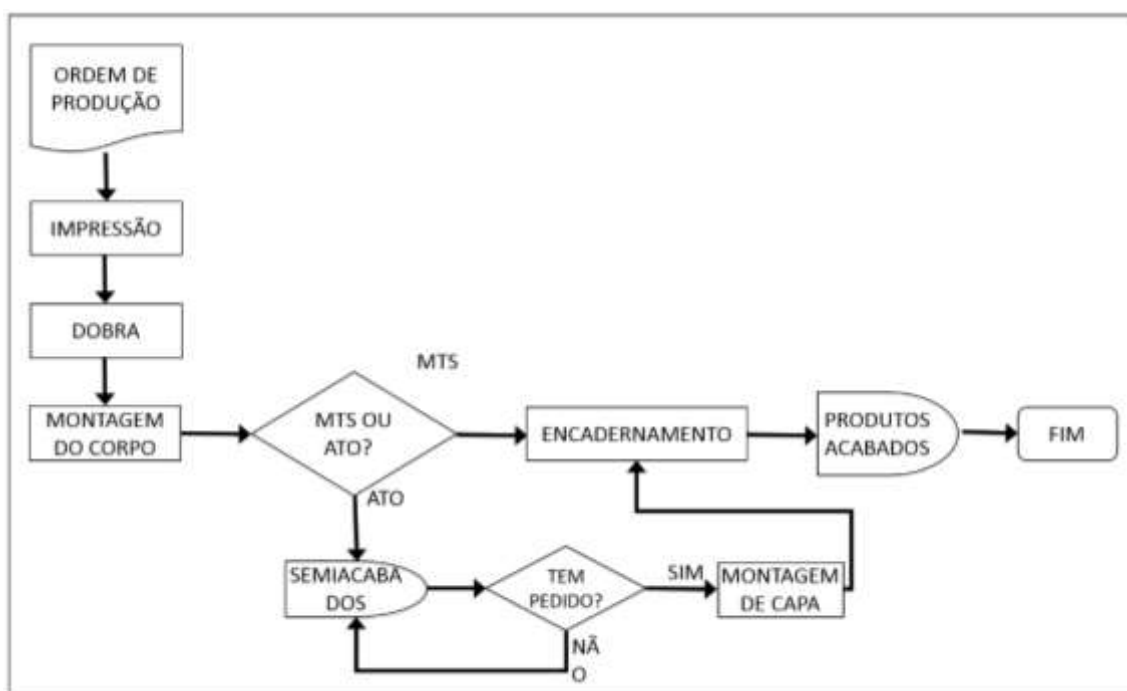


FIGURA 23: FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DA GRÁFICA EM ESTUDO.

Fonte: a autora.

Conforme mostra o fluxograma, desde a chegada da ordem de produção, passando pelos processos de impressão, dobra e montagem do corpo, o fluxo segue em linha. Após a formação do caderno ocorre o primeiro ponto de decisão em que o material poderá seguir pela produção, caso sejam produtos destinados à prateleira – MTS, ou ser estocada como produto semiacabado, caso seja montado sob pedido – ATO.

Ao seguir na linha, o produto MTS é encadernado e estocado na área de produtos acabados. Para produtos MTS as capas são inseridas durante o processo de montagem do corpo, já realizada.

Ao aguardar como semiacabado é necessário o segundo ponto de decisão que determina que apenas quando há pedido de cliente o produto ATO segue para montagem da capa, encadernação e estocagem na área de produtos acabados.

Para compreensão das interações entre os componentes, foram determinadas todas as entidades (recursos transformados e de transformação) e atividades (processos produtivos) do sistema.

O Quadro 10 descreve as entidades do sistema que são caracterizadas como recursos transformados, ou seja, aqueles que entram no sistema e são transformados em produtos acabados e também uma entidade que dispara processos produtivos.

As entidades Produto 1 e Produto 2 representam as ordens de produção dos produtos MTS que seguem exatamente o mesmo fluxo ao longo da linha de produção. A entidade Produto 3 representa as ordens de produção do produto ATO que segue um fluxo diferente, pois em um momento da produção o produto fica parado aguardando a colocação de pedido por parte do cliente para realização da montagem final. As ordens de produção dos três tipos de produtos entram no sistema por previsão de demanda. A entidade Pedido representa a confirmação do pedido do cliente que dispara a personalização do Produto 3 e sua finalização.

Os lotes foram definidos segundo o lote econômico de produção para cada tipo de produto. O tamanho do lote econômico de cada tipo de produto é definido pela empresa com base no custo da matriz de impressão e nos dados

históricos de quantidades de produtos solicitados pelos clientes, sem considerar os custos de estocagem.

Entidade	Características	Distribuição dos tempos de chegada no sistema	Porcentagem do produto sobre o montante total de pedidos anuais
Produto 1	Ordens de produção de apostilas para ensino básico; Lotes de 12.000 unidades; Padronizadas; Produção para estoque – MTS.	Exponencial Média: 16 dias	47%
Produto 2	Ordens de produção de apostilas para ensino médio; Lotes de 1.100 unidades; Padronizadas; Produção para estoque – MTS.	Exponencial Média: 4 dias	29%
Produto 3	Ordens de produção de material didático para crianças em pré-escola; Lotes de 4.000 unidades; Capas personalizadas de acordo com os clientes; Montagem sob pedido – ATO.	Exponencial Média: 6 dias	24%
Pedido	Pedido do cliente que dispara a personalização do produto 3; A conclusão do Produto 3 não ocorre sem um pedido de cliente.	Exponencial Média: 6 dias	Não se aplica

QUADRO 10: ENTIDADES DO SISTEMA MODELADO QUE REPRESENTAM RECURSOS TRANSFORMADOS.

Fonte: a autora

Os tempos médios entre as entradas das ordens de produção e os tamanhos de lote para cada tipo de produto foram fornecidos pela empresa. Atribuiu-se aos pedidos uma distribuição exponencial pois é a mais representativa de tempos de chegadas no sistema, uma vez que as chegadas possuem características de alta variância e independência entre um valor e outro (FREITAS, 2008; CHWIF, MEDINA, 2015).

O Quadro 11 descreve as entidades do sistema que são caracterizadas como recursos de transformação, ou seja, recursos demandados pelas atividades para realizar seus processamentos.

Todos os recursos de transformação são compartilhados entre as diferentes atividades do processo. Para que uma atividade seja iniciada é

necessário que todos os recursos demandados estejam disponíveis, o que significa que devem ter sido liberados da atividade anterior.

Recursos	Atividades	Quantidade disponível
Impressora	Compartilhada entre os processos de impressão dos produtos 1, 2 e 3.	1
Dobradeira	Compartilhada entre os processos de dobra dos produtos 1, 2 e 3.	1
Alceadeira e Guilhotina	Compartilhada entre os processos de montagem do corpo dos produtos 1, 2 e 3.	1
Espiraladeira automática	Compartilhada entre os processos de encadernação dos produtos 1, 2 e 3.	1
Operador	Compartilhado entre todos os processos.	12
Auxiliar	Compartilhado entre os processos de dobra e encadernação dos produtos 1, 2 e 3.	12

QUADRO 11: ENTIDADES DO SISTEMA MODELADO QUE REPRESENTAM RECURSOS DE TRANSFORMAÇÃO.

Fonte: a autora

No modelo conceitual foram consideradas três atividades para cada processo produtivo, sendo cada uma delas referente a um tipo de produto. A escolha de representar uma atividade para cada tipo de produto foi devido aos tempos e tamanhos de lote que são particulares a cada tipo de produto. Embora cada tipo de produto possua uma atividade no modelo conceitual, no sistema real essas atividades ocorrem no mesmo posto de trabalho e utilizam os mesmos recursos, portanto estes devem ser compartilhados entre as atividades, de forma que as atividades referentes ao mesmo processo produtivo não possam ocorrer simultaneamente.

O compartilhamento de recursos torna necessária a escolha de uma regra de priorização na utilização. Neste trabalho optou-se por utilizar a lógica *First In First Out* – FIFO (primeiro que entra, primeiro que sai), na qual a prioridade de utilização é do primeiro pedido colocado no sistema, pois é a lógica utilizada no sistema real, já no ambiente de produção.

O Quadro 12 descreve todas as atividades, os tipos de materiais de entrada e de saída de cada uma delas, os tempos de *setup* e as distribuições de probabilidade e seus parâmetros.

Atividade	Recursos demandados	Entrada	Saída	Distribuição de probabilidade do tempo de processamento do lote	Setup
Impressão 1	1 impressora 2 operadores	Folha virgem	Folha impressa	Normal Média: 30 hr DP: 1,5 hr	Não considerado
Impressão 2	1 impressora 2 operadores	Folha virgem	Folha impressa	Normal Média: 40 hr DP: 1,6 hr	Não considerado
Impressão 3	1 impressora 2 operadores	Folha virgem	Folha impressa	Normal Média: 12 hr DP: 0,5 hr	Não considerado
Dobra 1	1 dobradeira 2 operadores 2 auxiliares	Folha impressa	Cadernos	Normal Média: 32 hr DP: 1,5 hr	Não considerado
Dobra 2	1 dobradeira 2 operadores 2 auxiliares	Folha impressa	Cadernos	Normal Média: 26 hr DP: 1,1 hr	Não considerado
Dobra 3	1 dobradeira 2 operadores 2 auxiliares	Folha impressa	Cadernos	Normal Média: 12 hr DP: 0,5 hr	Não considerado
Montagem do corpo 1	1 alceadora 3 operadores 3 auxiliares	Cadernos	Apostila solta	Normal Média: 24 hr DP: 1,0 hr	Não considerado
Montagem do corpo 2	1 alceadora 1 operador 1 auxiliar	Cadernos	Apostila solta	Normal Média: 13 hr DP: 1,0 hr	Não considerado
Montagem do corpo 3	1 alceadora 2 operadores 2 auxiliares	Cadernos	Corpo de apostila	Normal Média: 7 hr DP: 0,6 hr	Não considerado
Montagem da capa P3	2 operadores	Corpo + Capa	Apostila pronta	Tempo não considerado	Não existe
Encadernação automática 1	1 espiraladeira 1 operador 2 auxiliares	Apostila solta	Apostila pronta	Normal Média: 18 hr DP: 1,0 hr	3 hr
Encadernação automática 2	1 espiraladeira 1 operador 2 auxiliares	Apostila solta	Apostila pronta	Normal Média: 8 hr DP: 0,4 hr	3 hr
Encadernação automática 3	1 espiraladeira 1 operador 2 auxiliares	Apostila solta	Apostila pronta	Normal Média: 6 hr DP: 0,3 hr	3 hr

QUADRO 12: DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DO SISTEMA MODELADO.

Fonte: a autora.

As atividades de impressão, dobra e encadernação automática são realizadas em todos os tipos de produtos e para cada um apresenta uma média

de tempo de processamento e um desvio padrão particular. Sempre entra folha virgem na atividade e sai folha impressa.

A atividade de montagem do corpo é diferente entre os tipos de produtos. Para os produtos 1 e 2, que são MTS, são montados o corpo da apostila juntamente com a capa e a entrada é constituída de cadernos e a saída de apostilas soltas (sem encadernação). Para o produto 3, que é ATO, é montado apenas o corpo da apostila e a capa é inserida posteriormente. A entrada do processo é constituída de cadernos e a saída de corpos de apostilas soltos (sem capa e sem encadernação).

A atividade de montagem da capa é realizada apenas no produto 3 e tem como entrada os corpos de apostilas soltos e saída a apostila solta com capa. O seu tempo de processamento não foi considerado pois é uma atividade que ocorre simultaneamente ao processo de montagem do corpo. À medida que cada um dos corpos de apostila montados saem da máquina, são encaminhados à estação de montagem da capa, antes do processamento completo do lote. Isto ocorre pois a operação de montagem da capa é manual, então não é necessário fechar um lote completo para ser iniciada, assim como as demais operações de máquinas.

As médias dos tempos de processamento de cada atividade bem como os desvios padrões foram fornecidos pela empresa. O tempo de processamento considera o tempo total entre a entrada de um lote em um processo até a saída deste lote completo. Para os três tipos de pedidos, os tempos de processamento são distintos pois, cada um envolve uma quantidade de páginas e uma quantidade de caracteres e figuras impressas diferentes. A distribuição normal foi escolhida pois é aplicável quando a probabilidade de ocorrência de valores acima ou abaixo da média é a mesma e quando o tempo total é a soma dos tempos de diferentes processos em sequência, ambas características do sistema real. Além disso, é distribuição que melhor representa processos manuais ou parcialmente automatizados, como o caso dos processos do sistema real (FREITAS, 2008; CHWIF, MEDINA, 2015).

Os tempos de setup dos processos de impressão, dobra e montagem do corpo foram desconsiderados no modelo conceitual pois são muito pequenos em

relação ao tempo médio de processamento e menores que os seus desvios padrões.

O tempo de setup da máquina espiraladeira, que faz a encadernação automática, foi reduzido para 3 horas, ao invés das 24 horas do sistema real, pois no modelo as chegadas das ordens de produção dos três tipos são aleatórias entre si, mas na prática, são agrupadas visando reduzir o número trocas da configuração da máquina. No sistema real, aproximadamente 8 lotes de cada produto são passados em sequência antes da troca da configuração, logo, o setup é realizado a cada 8 lotes e não a cada novo lote que entra na linha de produção. Portanto, aproximou-se o tempo de setup para 3 horas, alternando os lotes entre si aleatoriamente.

O valor de setup escolhido para máquina espiraladeira corresponde a aproximadamente 15% do tempo total de ocupação da máquina em operação. Este valor foi estabelecido pois, ao considerar o tempo de três setups em relação ao tempo total de 8 ciclos de cada um dos três produtos, obtém-se um valor de 14,2%. Caso o tempo de setup não fosse aproximado para as três horas, poderiam ocorrer os seguintes impactos na simulação computacional:

- Por serem entradas aleatórias dos três produtos, o setup ocorreria a cada troca de tipo de produto, levando a um tempo de processamento total para executar a quantidade anual de produtos do sistema real muito maior que o período de um ano.
- Ao simular um período de um ano, por apresentar muito tempo de indisponibilidade da máquina espiraladeira devido ao setup, a quantidade de produtos processados poderia ser muito menor que o montante processado atualmente no sistema real.

Através das entidades e atividades do sistema, foi criado o modelo conceitual em formato ACD (*Activity Cycle Diagram*), ilustrado no APÊNDICE 1.

O ACD apresenta todas as atividades produtivas, as entidades que representam os recursos transformados e as entidades que representam os recursos de transformação que são máquinas compartilhadas pelos processos dos três produtos, operários e funcionários auxiliares.

Para possibilitar melhor visualização dos processos produtivos e dos recursos transformados e máquinas de transformação, foi gerado também um ACD simplificado, mostrado no APÊNDICE 2. Neste ACD simplificado não são representados os operários nem os funcionários auxiliares.

Após a definição das restrições que levaram à abstração do sistema real para gerar o modelo conceitual e da elaboração do ACD o Coordenador de PCP da empresa foi consultado, buscando mapear possíveis falhas na representatividade do modelo conceitual frente ao sistema real. Para validação do modelo conceitual foi utilizado o questionário apresentado no APÊNDICE 3.

O modelo conceitual foi considerado representativo do sistema produtivo, guardando as devidas simplificações para o objetivo de avaliar os tempos produtivos e os níveis de materiais em processo. Dessa forma, considera-se o modelo conceitual validado.

Utilizando as interações apresentadas na modelagem conceitual, será realizado o modelo computacional, apresentado na próxima seção.

5.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL

Para implementação do modelo computacional que representa o sistema de produção da gráfica, utiliza-se o software SIMUL8® no qual são criados as entidades, chegadas e saídas, filas, atividades e recursos, os quais serão descritos nas próximas seções. Após a descrição dos elementos é apresentado o modelo computacional e os procedimentos adotados para sua verificação e validação.

5.2.1 Entidades e pontos de entrada e saída

No modelo computacional foram criadas 4 entidades que representam os recursos transformados: Produto 1, Produto 2, Produto 3 e Pedido, cujas parametrizações são apresentadas no Quadro 13.

Entidade	Entrada	Saída	Distribuição dos tempos de chegada	Lote [folhas]	Prioridade
Produto 1	<i>Start Point:</i> P1	<i>End:</i> PA1	Exponencial Média: 130 h	372 mil	Ordem de chegada
Produto 2	<i>Start Point:</i> P2	<i>End:</i> PA2	Exponencial Média: 30 h	492 mil	Ordem de chegada
Produto 3	<i>Start Point:</i> P3	<i>End:</i> PA3	Exponencial Média: 50 h	144 mil	Ordem de chegada
Pedido	<i>Start Point:</i> Pedido	Expira na atividade Montagem Capa	Exponencial Média: 50 h	---	Ordem de chegada

QUADRO 13: ENTIDADES DO MODELO COMPUTACIONAL.

Fonte: a autora

As entidades Produto 1/2/3 representam as ordem de produção dos produtos junto à entrada de matéria prima quantificada em unidades de folhas de papel virgem. A prioridade de atendimento ao entrar no sistema é dada pela ordem de chegada. A entidade Pedido representa o pedido do cliente que irá disparar a personalização do Produto 3.

No modelo computacional que representa o sistema produtivo atual foi considerado que há tantos pedidos de cliente quanto ordens de produção do produto 3, visando representar um estado inicial para simulação. Na verificação e validação do modelo computacional são propostas alterações nestas condições. As entidades Produto 1/2/3 entram no sistemas pelos pontos de entrada P1, P2 e P3 e saem pelos pontos de saída pelos pontos finais PA1, PA2 e PA3, respectivamente. A entidade Pedido entra pelo ponto de entrada Pedido e é encerrada na atividade de montagem da capa, conforme pode ser observado no ACD do modelo conceitual, apresentado nos APÊNDICES 1 e 2.

O tamanho dos lotes em folhas foram definidos multiplicando a quantidade aproximada de folhas constantes em cada apostila e o tamanho do lote econômico para cada tipo de produto.

A distribuição dos tempos de chegada foram transformadas em horas, de acordo com o turno de produção e os tempos em dias, apresentados na modelagem conceitual. Foram utilizadas aproximações dos valores obtidos para simplificação.

5.2.2 Recursos de transformação

O modelo computacional apresenta 6 recursos compartilhados entre as atividades: impressora, dobradeira, conjunto de alceadeira e guilhotina, espiraladeira, operador e auxiliar, cujas parametrizações são apresentadas no Quadro 14.

Recurso	Disponibilidade	Quantidade
Impressora	100%	1
Dobradeira	100%	1
Alceadeira e Guilhotina	100%	1
Espiraladeira	85%	1
Operador	70%	12
Auxiliar	70%	12

QUADRO 14: RECURSOS DO MODELO COMPUTACIONAL.

Fonte: a autora

A impressora, dobradeira, alceadeira e guilhotina são máquinas cujos tempos de setup foram desconsiderados por serem muito pequenos em relação ao tempo de processamento, menores inclusive que os seus desvios padrões. Também não foram considerados tempos de parada por quebra, manutenção e falhas pois a simulação será por 6 horas diárias, que é o tempo médio de produção efetiva no sistema real.

A espiraladeira foi configurada com 85% de disponibilidade pois no modelo conceitual há uma estimativa de que 15% do tempo da máquina seja dedicado ao setup que dura em média 24 horas e ocorre aproximadamente a cada 8 lotes do mesmo produto.

Os funcionários, tanto operários como auxiliares estão disponíveis 70% do tempo uma vez que no turno de produção realizam atividades fora da linha de produção, simultaneamente, de acordo com a necessidade diária. São considerados 12 operários e 12 auxiliares, pois esta é a quantidade de funcionários disponíveis em chão de fábrica para operações produtivas.

5.2.3 Atividades produtivas

O modelo computacional é constituído de atividades produtivas que compartilham recursos, possuem tempos distintos de acordo com o tipo de produto. As parametrizações das atividades são descritas no Quadro 15.

Atividade	Recursos	Rota de entrada	Rota de saída	Distribuição do tempo de processamento
Impressão 1	Impressora Operador (2)	372 mil folhas	372 mil folhas	Normal (30;1,5)
Impressão 2	Impressora Operador (2)	492 mil folhas	492 mil folhas	Normal (40;1,6)
Impressão 3	Impressora Operador (2)	144 mil folhas	144 mil folhas	Normal (12;0,5)
Dobra 1	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	372 mil folhas	372 mil folhas em cadernos	Normal (32;1,5)
Dobra 2	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	492 mil folhas	492 mil folhas em cadernos	Normal (26;1,1)
Dobra 3	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	144 mil folhas	144 mil folhas em cadernos	Normal (12;0,5)
Montagem do corpo 1	Alceadora Operador (3) Auxiliar(3)	372 mil folhas em cadernos	12 mil apostilas soltas	Normal (24;1,0)
Montagem do corpo 2	Alceadora Operador (1) Auxiliar(1)	492 mil folhas em cadernos	1000 apostilas soltas	Normal (13;1,0)
Montagem do corpo 3	Alceadora Operador (2) Auxiliar(2)	144 mil folhas em cadernos	4 mil apostilas soltas s/ capa	Normal (7;0,6)
Montagem da capa	Operador (2)	4 mil apostilas soltas 1 pedido	4 mil apostilas soltas	Fixo (0)
Encadernação automática 1	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	12 mil apostilas soltas	12 mil apostilas	Normal (18;1,0)
Encadernação automática 2	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	1000 apostilas soltas	1000 apostilas	Normal (8;0,4)
Encadernação automática 3	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	4 mil apostilas soltas s/ capa	4 mil apostilas	Normal (6;0,3)

QUADRO 15: ATIVIDADES DO MODELO COMPUTACIONAL.

Fonte: a autora

As rotas de entrada e saída das atividades no modelo computacional definem a composição dos lotes. Para reduzir o tempo de processamento ao longo da simulação, nas rodadas computacionais todos os valores foram divididos por mil.

5.2.4 Configuração do relógio de simulação e número de replicações

Para compor o modelo computacional de um sistema terminal, aquele em que existe um tempo exato para iniciar e encerrar a simulação, deve-se configurar o relógio com a duração da simulação e determinar o número de replicações necessárias para obter resultados dentro de um intervalo de confiança pré-definido.

A simulação foi configurada para turnos de 8 horas diárias, que é o tempo efetivo dedicado à produção no sistema real, iniciados às 08:00 horas da manhã, cinco dias por semana, considerando uma média de 21 dias úteis por mês. O tempo total de simulação foi configurado para um ano, que para os turnos diários representa 2116 horas. Esse período foi escolhido pois, a grande maioria dos produtos da empresa são demandados uma vez ao ano, logo, esse seria o tempo mínimo de simulação para representar o sistema real.

O número de replicações foi definido utilizando a ferramenta *Trial Calculator* do software SIMUL8®. A ferramenta permite dimensionar o número adequado de replicações para garantir que as quantidades finais de produtos finalizados no sistema variem no máximo 5% em relação aos valores médios. Para um nível de 95% de confiança, no resultado que indica as quantidades de produtos acabados, é necessário realizar pelo menos 49 replicações na rodada de simulação, segundo a ferramenta *Trial Calculator*.

5.2.5 Modelo computacional proposto

A Figura 24 ilustra o modelo computacional proposto, que foi parametrizado segundo os dados apresentados e foi simulado buscando verificar seu funcionamento adequado.

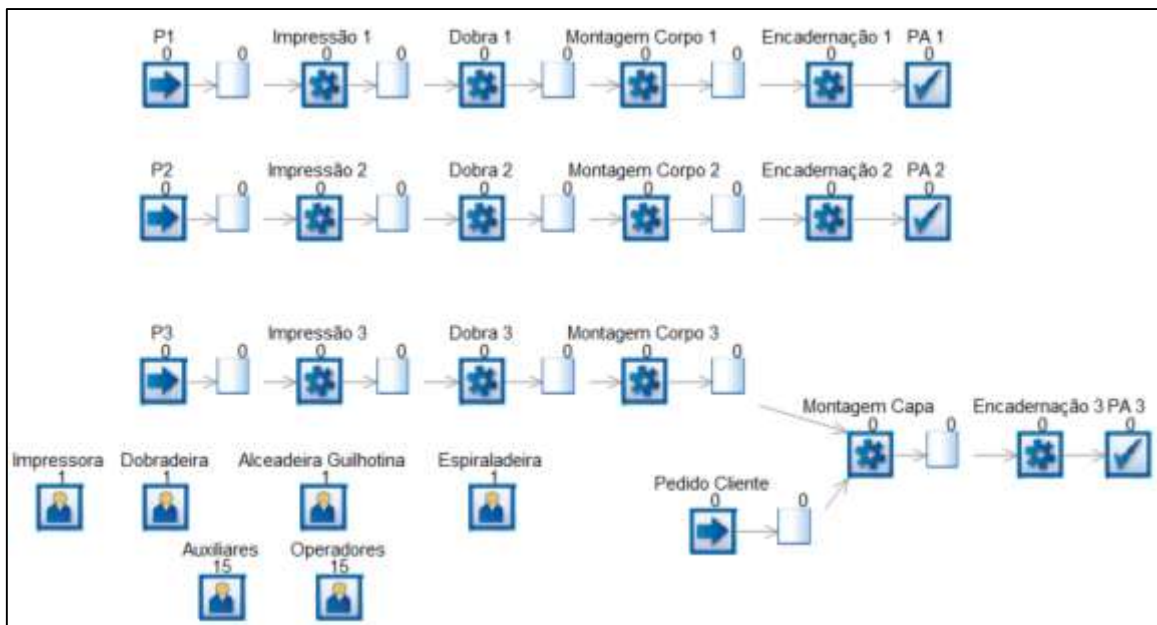


FIGURA 24: MODELO COMPUTACIONAL PROPOSTO.

Fonte: a autora.

O modelo computacional proposto foi construído a partir do ACD do sistema de produção da gráfica, apresentado no APÊNDICE 1, e possui três linhas paralelas, uma referente à cada tipo de produto. As linhas dos Produtos 1/2 possuem os mesmos elementos, porém tempos diferentes para a execução das atividades nos mesmos postos. A linha do Produto 3 é diferente e agrega uma atividade adicional, a montagem de capa, que só pode ser executada quando chega um pedido do cliente no sistema.

5.2.6 Verificação e validação do modelo computacional

Para a verificação do modelo de simulação foram utilizadas algumas técnicas propostas por Chwif e Medina (2015):

- i. Implementação e verificação modular: o modelo foi todo desenvolvido em partes, as quais foram simuladas individualmente e agregadas ao modelo final somente após a verificação do seu correto funcionamento.
- ii. Valores constantes ou simplificados versus cálculos manuais: para verificar o funcionamento correto do modelo, após agregar todos os módulos, foi gerada uma simulação com valores unitários de lotes e tempo reduzido para um mês. Os valores referentes à quantidade de produtos acabados e ordens de produção na entrada do sistema, e tempos de ciclo foram calculados manualmente e conferidos com os valores obtidos na simulação. Após a conferência dos valores, foram atribuídos os lotes nos tamanhos reais e foi novamente calculado, verificando o correto funcionamento do modelo.
- iii. Revisão em grupo: Finalmente, após a verificação pela própria desenvolvedora do modelo, foi solicitada uma revisão externa a um programador profissional que repetiu os cálculos executados anteriormente e conferiu os resultados obtidos no modelo, já com os tamanhos de lotes reais inseridos no sistema.

Após a execução das três atividades de verificação, o modelo computacional foi considerado verificado quanto ao seu funcionamento, o que significa que a simulação ocorre conforme os requisitos desejados para tal, eliminando a possibilidade de erros de sintaxe e/ou lógica.

Deve-se então validar o modelo quanto à sua representatividade frente ao sistema real. Para validação do modelo computacional foram utilizadas algumas técnicas propostas por Chwif e Medina (2015), as quais serão detalhadas na sequência:

- i. Validação em caixa preta;
- ii. Análise de sensibilidade;
- iii. Validação face a face.

Para validação em caixa preta foi realizado um experimento no modelo proposto, o qual foi simulado com chegadas de ordens de produção com os valores definidos na modelagem conceitual e medidas as quantidades finais de produção, somando todos os produtos acabados em um período de um ano. O valor obtido foi comparado ao valor produzido nos 2 últimos anos, época em que a fábrica produzia com a capacidade instalada atualmente, e os valores obtidos foram muito parecidos, permitindo afirmar que com 95% de confiança os valores de produtos totais gerados pelo modelo foram equivalentes aos valores reais produzidos nos últimos dois anos.

Para a análise de sensibilidade foram gerados três experimentos simulando possíveis ocorrências do sistema real e foi verificado se o modelo se comporta conforme o sistema real. Para melhor entendimento, os experimentos das ocorrências são detalhados no Quadro 16.

Experimento	Configuração da simulação	Resultado esperado	Resultado obtido
Aumento da frequência de pedidos dos clientes	Pedido com tempo entre chegadas Normal(5)	Ao aumentar a taxa de chegada de pedidos, espera-se que aumente a fila de pedidos aguardando processamento, o que representa não atendimento à demanda.	A fila de pedidos aguardando processamento aumentou de 7 unidades do modelo padrão para 145 unidades médias ao final da rodada de simulação.
Diminuição da frequência de pedidos dos clientes	Pedido com tempo entre chegadas Normal(1000)	Ao diminuir a taxa de chegada de pedidos, para uma única chegada no período de simulação, espera-se que o estoque de semiacabados aumente.	O estoque de produtos semiacabados estava zerado e aumentou para 80 mil unidades médias ao final da rodada de simulação.
Redução da capacidade do recurso gargalo	Disponibilidade da impressora 50%	O recurso gargalo estava sendo utilizado 99% do tempo de simulação, evidenciando que a quantidade de produtos concluídos ao final da simulação é a quantidade que pode ser processada neste recurso. Ao reduzir sua capacidade produtiva pela metade, espera-se que sejam concluídos metade da quantidade final de produtos.	A quantidade final de produtos acabados caiu para 48% da quantidade inicial com a redução da capacidade do recurso gargalo pela metade.

QUADRO 16: EXPERIMENTOS PARA VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL.

Fonte: a autora

Finalmente, foi realizada a validação face a face, na qual o coordenador de PCP da empresa foi consultado sobre os resultados obtidos nos experimentos e conferiu que são representativos das ocorrências no sistema real. Após a realização dos experimentos de simulação e verificação dos resultados junto ao coordenador de PCP, pode-se afirmar que o comportamento do modelo foi coerente com o resultados esperado no sistema real nos três casos.

Após a realização das três técnicas de validação, o modelo pode ser considerado validado quanto à representatividade do sistema real. A próxima etapa consiste em, a partir do modelo computacional validado, gerar diferentes modelos operacionais para avaliação do desempenho do sistema em diferentes ambientes de produção.

5.3 MODELAGEM OPERACIONAL: GERAÇÃO DE CENÁRIOS

A modelagem operacional consiste em gerar cenários para avaliação de desempenho do sistema com relação aos objetivos da pesquisa. Nesta etapa são gerados três modelos, a partir dos quais serão gerados os cenários para comparação dos ambientes produtivos:

- i. Um ambiente completamente empurrado da produção, baseado em previsões de demanda.
- ii. Um ambiente totalmente puxado da produção, em que o cliente puxa a produção a partir do último processo, que puxa produção do processo anterior e assim por diante.
- iii. Um ambiente híbrido, baseado em CONWIP, em que o cliente puxa a produção a partir do primeiro processo produtivo e esta é empurrada até o cliente.

Após a geração dos três modelos, são definidos os cenários e indicadores de desempenho a serem medidos, os quais, quando confrontados, permitirão inferir sobre o desempenho dos três ambientes propostos e do ambiente atual do sistema produtivo.

A Figura 25 ilustra a dinâmica das simulações realizadas para análise comparativa entre os três modelos propostos para representar os ambientes produtivos e o modelo que representa o sistema atual da gráfica em estudo.

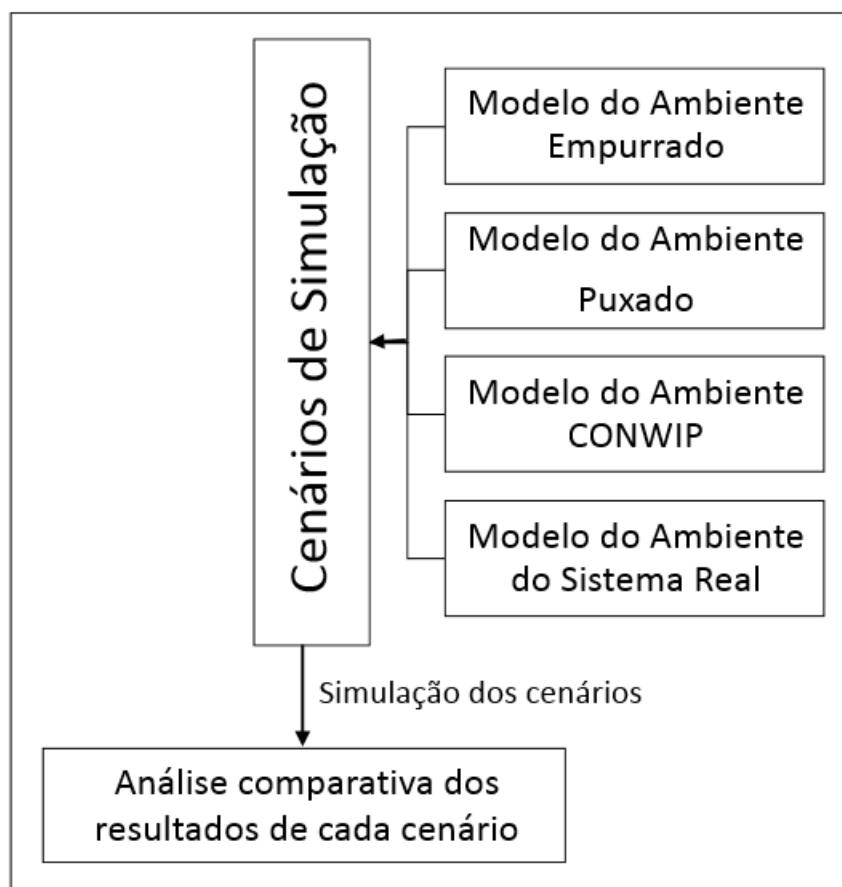


FIGURA 25: DINÂMICA DAS SIMULAÇÕES PARA ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS DE AMBIENTES DE PRODUÇÃO.

Fonte: a autora.

Os modelos do ambiente empurrado, puxado e híbrido, os cenários propostos e os indicadores de desempenho selecionados para análise do sistema são descritos nas próximas seções.

5.3.1 Ambiente totalmente empurrado

O ambiente totalmente empurrado foi modelado considerando a produção dos três tipos de produtos baseada em previsão de demanda.

As condições iniciais do modelo empurrado foram parametrizadas segundo os dados apresentados nos Quadros 17 e 18. Não são apresentadas as descrições sobre o compartilhamento de recursos e as suas disponibilidades pois estes foram mantidas conforme o modelo do sistema real, apresentado na Seção 5.2.2.

Entidade	Entrada	Saída	Distribuição dos tempos de chegada	Lote [folhas]	Prioridade
Produto 1	<i>Start Point: P1</i>	<i>End: PA1</i>	Exponencial Média: 250 h	372 mil	Ordem de chegada
Produto 2	<i>Start Point: P2</i>	<i>End: PA2</i>	Exponencial Média: 30 h	492 mil	Ordem de chegada
Produto 3	<i>Start Point: P3</i>	<i>End: PA3</i>	Exponencial Média: 50 h	144 mil	Ordem de chegada

QUADRO 17: PARAMETRIZAÇÃO DAS ENTIDADES DO MODELO DO AMBIENTE TOTALMENTE EMPURRADO.

Fonte: a autora

O modelo possui três entidades, Produto1/2/3 que representam as ordens de produção e a entrada de matéria prima no sistema, que são disparados segundo previsão de demanda.

São considerados lotes específicos e constantes para cada tipo de produto, os quais também são definidos conforme a previsão de demanda.

O modelo possui as atividades pelas quais as entidades percorrem no processo de transformação. Os três produtos percorrem as mesmas atividades produtivas as quais compartilham recursos entre si e foram parametrizadas com as distribuições do tempo de processamento iguais ao modelo do sistema real.

A personalização das capas para o Produto 3 foi considerada inerente ao processo, conforme ocorre com os Produtos 1 e 2, eliminando a etapa de montagem das capas, que consta no modelo do sistema real. Essa consideração se deve ao fato de que, como todos os produtos são por previsão de demanda, assume-se também uma previsão da personalização, já que existem dados históricos acerca dos requisitos dos clientes anteriores.

Atividade	Recursos	Rota de entrada	Rota de saída	Distribuição do tempo de processamento
Impressão 1	Impressora Operador (2)	372 mil folhas	372 mil folhas	Normal (30;1,5)
Impressão 2	Impressora Operador (2)	492 mil folhas	492 mil folhas	Normal (40;1,6)
Impressão 3	Impressora Operador (2)	144 mil folhas	144 mil folhas	Normal (12;0,5)
Dobra 1	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	372 mil folhas	372 mil folhas em cadernos	Normal (32;1,5)
Dobra 2	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	492 mil folhas	492 mil folhas em cadernos	Normal (26;1,1)
Dobra 3	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	144 mil folhas	144 mil folhas em cadernos	Normal (12;0,5)
Montagem do corpo 1	Alceadora Operador (3) Auxiliar(3)	372 mil folhas em cadernos	12 mil apostilas soltas	Normal (24;1,0)
Montagem do corpo 2	Alceadora Operador (1) Auxiliar(1)	492 mil folhas em cadernos	1000 apostilas soltas	Normal (13;1,0)
Montagem do corpo 3	Alceadora Operador (2) Auxiliar(2)	144 mil folhas em cadernos	4 mil apostilas soltas s/ capa	Normal (7;0,6)
Encadernação automática 1	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	12 mil apostilas soltas	12 mil apostilas	Normal (18;1,0)
Encadernação automática 2	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	1000 apostilas soltas	1000 apostilas	Normal (8;0,4)
Encadernação automática 3	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	4 mil apostilas soltas s/ capa	4 mil apostilas	Normal (6;0,3)

QUADRO 18: PARAMETRIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO MODELO DO AMBIENTE TOTALMENTE EMPURRADO.

Fonte: a autora

O modelo computacional proposto para o ambiente totalmente empurrado é apresentado na Figura 26.

As entidades P1, P2, e P3 representam as ordens de produção dos Produtos 1, 2 e 3 respectivamente. Toda a produção segue em linha, passando pelas atividades de impressão, dobra, montagem do corpo e encadernação, até as saídas de produtos acabados, representadas por PA1, PA2 e PA3.

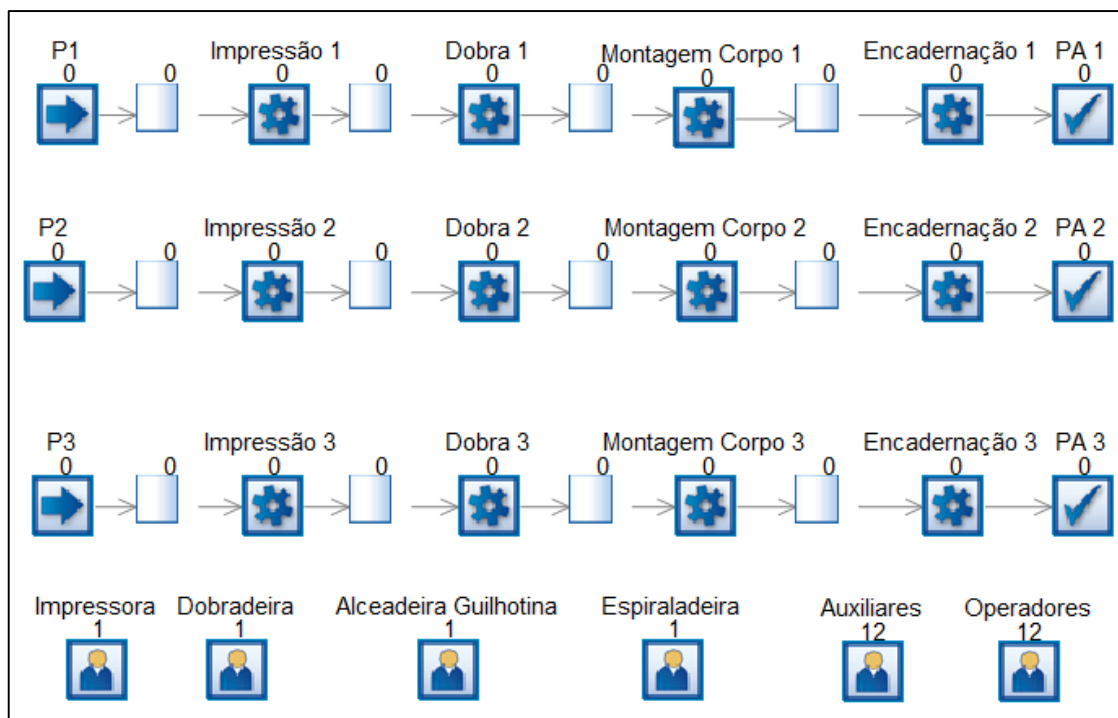


FIGURA 26: MODELO COMPUTACIONAL PROPOSTO PARA O AMBIENTE EMPURRADO.

Fonte: a autora.

Todas as atividades podem ocorrer desde que tenham todos os recursos necessários disponíveis e que estejam dentro da previsão de demanda que segue a distribuição de entrada junto com as matérias primas.

5.3.2 Ambiente totalmente puxado

O ambiente totalmente puxado foi modelado considerando a produção dos três tipos de produtos a partir da chegada de pedido do cliente no sistema, iniciando no último estágio de produção e solicitando materiais dos estágios anteriores sucessivamente.

As condições iniciais do modelo puxado foram parametrizadas segundo os dados apresentados nos Quadros 19 e 20. Não são apresentadas as descrições sobre o compartilhamento de recursos e as suas disponibilidades pois estes foram mantidas conforme o modelo do sistema real.

Entidade	Entrada	Saída	Distribuição dos tempos de chegada	Lote [folhas]	Prioridade
Produto 1	<i>Start Point:</i> P1	<i>End:</i> PA1	Exponencial Média: 250 h	31 mil	Ordem de chegada
Produto 2	<i>Start Point:</i> P2	<i>End:</i> PA2	Exponencial Média: 30 h	492 mil	Ordem de chegada
Produto 3	<i>Start Point:</i> P3	<i>End:</i> PA3	Exponencial Média: 50 h	36 mil	Ordem de chegada
Pedido 1	<i>Start Point:</i> Pedido 1	Expira na Impressão 1	Exponencial Média: 250 h	---	Ordem de chegada
Pedido 2	<i>Start Point:</i> Pedido 2	Expira na Impressão 2	Exponencial Média: 30 h	---	Ordem de chegada
Pedido 3	<i>Start Point:</i> Pedido 3	Expira na Impressão 3	Exponencial Média: 50 h	---	Ordem de chegada

QUADRO 19: PARAMETRIZAÇÃO DAS ENTIDADES DO MODELO DO AMBIENTE TOTALMENTE PUXADO.

Fonte: a autora

No ambiente puxado as entidades Produto 1/2/3 passam a representar apenas a entrada de matéria prima no sistema, e as entidades Pedido 1/2/3 disparam as ordens de produção.

A entrada de matéria prima continua sendo realizada através de previsão de demanda.

Como a produção é puxada, consideram-se lotes de processamento de mil unidades de apostilas para cada tipo de produto. Mil unidades é o menor tamanho de lote economicamente viável do sistema real, por isso foi escolhido. Cada tipo de produtos possui uma quantidade específica de folhas na entrada do processo para compor o lote de mil apostilas.

Para o sistema puxado foi considerado um carregamento inicial do sistema, modelado a partir de estoques de produtos em processo, antecedendo todas as etapas produtivas, visando garantir o seu funcionamento desde o início dos pedidos de compras dos clientes finais.

As atividades são as mesmas do ambiente empurrado, entretanto, a personalização das capas para o Produto 3 foi considerada inerente ao processo de montagem do corpo, conforme ocorre com os Produtos 1 e 2, eliminando a etapa de montagem das capas. Essa consideração se deve ao fato de que no

momento de inserção das capas já existe fechamento do pedido do cliente, portanto estas podem ser puxadas junto ao restante das apostilas.

Atividade	Recursos	Rota de entrada	Rota de saída	Distribuição do tempo de processamento
Impressão 1	Impressora Operador (2)	31 mil folhas	31 mil folhas	Normal (2,5;0,125)
Impressão 2	Impressora Operador (2)	492 mil folhas	492 mil folhas	Normal (40;1,6)
Impressão 3	Impressora Operador (2)	36 mil folhas	36 mil folhas	Normal (3;0,125)
Dobra 1	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	31 mil folhas	31 mil folhas em cadernos	Normal (2,6;0,125)
Dobra 2	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	492 mil folhas	492 mil folhas em cadernos	Normal (26;1,1)
Dobra 3	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	36 mil folhas	36 mil folhas em cadernos	Normal (3;10,125)
Montagem do corpo 1	Alceadora Operador (3) Auxiliar(3)	31 mil folhas em cadernos	1000 apostilas soltas	Normal (2;0,10)
Montagem do corpo 2	Alceadora Operador (1) Auxiliar(1)	492 mil folhas em cadernos	1000 apostilas soltas	Normal (13;1,0)
Montagem do corpo 3	Alceadora Operador (2) Auxiliar(2)	36 mil folhas em cadernos	1000 apostilas soltas s/ capa	Normal (1,8;0,13)
Encadernação automática 1	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	1000 apostilas soltas	1000 apostilas	Normal (1,5;0,10)
Encadernação automática 2	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	1000 apostilas soltas	1000 apostilas	Normal (8;0,4)
Encadernação automática 3	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	1000 apostilas soltas s/ capa	1000 apostilas	Normal (1,5;0,08)
Coleta 1	-----	1000 apostilas	12 mil apostilas	Fixo(0)
Coleta 2	-----	1000 apostilas	1000 apostilas	Fixo(0)
Coleta 3	-----	1000 apostila	4 mil apostilas	Fixo(0)

QUADRO 20: PARAMETRIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO MODELO DO AMBIENTE TOTALMENTE PUXADO.

Fonte: a autora

Os tempos de processamento foram reduzidos em relação ao sistema original, pois são considerados apenas lotes de 1000 unidades e aqueles tempos são referentes aos lotes econômicos da empresa. Para a redução dos tempos foi utilizada regra de três simples entre as diferentes quantidades de produtos.

O modelo computacional proposto para o ambiente totalmente puxado é apresentado na Figura 27.

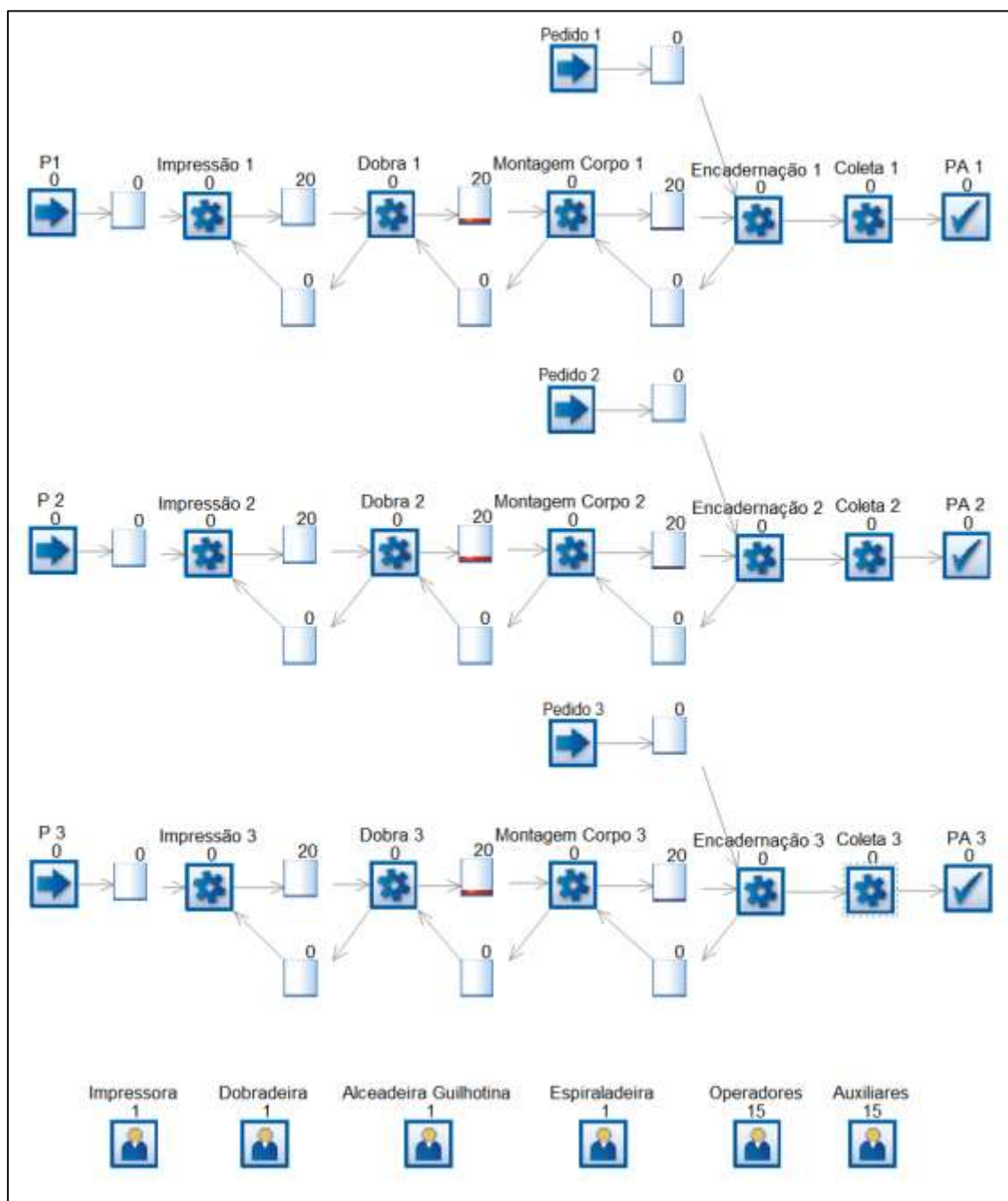


FIGURA 27: MODELO COMPUTACIONAL PROPOSTO PARA O AMBIENTE PUXADO.

Fonte: a autora.

No modelo em ambiente totalmente puxado o processo produtivo se inicia com o pedido do cliente, que dispara a produção da encadernação. Para que a encadernação ocorra, é necessário que, além do pedido do cliente, haja ao menos um lote de produtos em estoque em processo. Quando essas duas condições são atingidas, a encadernação é iniciada e ao término da atividade, dispara uma ordem de produção para o processo anterior, de montagem do corpo. A mesma lógica é utilizada até chegar na atividade de impressão, a qual precisa de matéria prima e ordem de produção. A mesma dinâmica acontece para os três tipos de produtos que ao serem entregues, alimentam os estoques de produtos acabados, PA1, PA2 e PA3.

As atividades Coleta 1/2/3 representam apenas a formação do lote final de venda, pressupondo que, embora a produção possa ser quebrada em lotes menores, a entrega ao cliente segue lotes de tamanhos fixos, definidos com base em previsões de ocorrências anteriores. Esta implementação permite alterar facilmente o tamanho dos lotes de pedidos durante as simulações em diferentes cenários, sem necessidade de realizar esta alteração individualmente em cada uma das atividades.

5.3.3 Ambiente híbrido baseado em CONWIP

O ambiente híbrido foi modelado considerando as produções dos três tipos de produtos disparadas pela chegada de pedido do cliente no sistema, partindo do primeiro estágio de produção seguindo pela linha até o último estágio em lotes de processamento constantes, estimados por de previsão de demanda.

As condições iniciais do modelo híbrido foram parametrizadas segundo os dados apresentados nos Quadros 21 e 22. Não são apresentadas as descrições sobre o compartilhamento de recursos e as suas disponibilidades pois estes foram mantidas conforme o modelo do sistema real, conforme apresentado na Seção 5.2.2.

No ambiente híbrido as entidades Produto 1/2/3 representam apenas a entrada de matéria prima no sistema, e as entidades Pedido 1/2/3 disparam as ordens de produção. A entrada de matéria prima continua sendo realizada através de previsão de demanda.

São considerados lotes de processamento constantes, conforme os princípios do sistema CONWIP, cujos tamanhos são estimados a partir de previsão de demanda. Pressupõe-se que os pedidos chegam com tamanhos de lotes pré-definidos.

Entidade	Entrada	Saída	Distribuição dos tempos de chegada	Lote [folhas]	Prioridade
Produto 1	<i>Start Point:</i> P1	<i>End:</i> PA1	Exponencial Média: 250 h	372 mil	Ordem de chegada
Produto 2	<i>Start Point:</i> P2	<i>End:</i> PA2	Exponencial Média: 30 h	492 mil	Ordem de chegada
Produto 3	<i>Start Point:</i> P3	<i>End:</i> PA3	Exponencial Média: 50 h	144 mil	Ordem de chegada
Pedido 1	<i>Start Point:</i> Pedido 1	Expira na Impressão 1	Exponencial Média: 250 h	---	Ordem de chegada
Pedido 2	<i>Start Point:</i> Pedido 2	Expira na Impressão 2	Exponencial Média: 30 h	---	Ordem de chegada
Pedido 3	<i>Start Point:</i> Pedido 3	Expira na Impressão 3	Exponencial Média: 50 h	---	Ordem de chegada

QUADRO 21: PARAMETRIZAÇÃO DAS ENTIDADES DO MODELO DO AMBIENTE HÍBRIDO.

Fonte: a autora

As atividades são as mesmas do ambiente empurrado, entretanto, a personalização das capas para o Produto 3 foi considerada inerente ao processo de montagem do corpo, conforme ocorre com os Produtos 1 e 2, eliminando a etapa de montagem das capas. Essa consideração se deve ao fato de que no momento de inserção das capas já existe fechamento do pedido do cliente, portanto estas podem ser puxadas junto ao restante das apostilas.

Atividade	Recursos	Rota de entrada	Rota de saída	Distribuição do tempo de processamento
Impressão 1	Impressora Operador (2)	31 mil folhas	31 mil folhas	Normal (2,5;0,125)
Impressão 2	Impressora Operador (2)	492 mil folhas	492 mil folhas	Normal (40;1,6)
Impressão 3	Impressora Operador (2)	36 mil folhas	36 mil folhas	Normal (3;0,125)
Dobra 1	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	31 mil folhas	31 mil folhas em cadernos	Normal (2,6;0,125)
Dobra 2	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	492 mil folhas	492 mil folhas em cadernos	Normal (26;1,1)
Dobra 3	Dobradeira Operador (2) Auxiliar(2)	36 mil folhas	36 mil folhas em cadernos	Normal (3;10,125)
Montagem do corpo 1	Alceadora Operador (3) Auxiliar(3)	31 mil folhas em cadernos	1000 apostilas soltas	Normal (2;0,10)
Montagem do corpo 2	Alceadora Operador (1) Auxiliar(1)	492 mil folhas em cadernos	1000 apostilas soltas	Normal (13;1,0)
Montagem do corpo 3	Alceadora Operador (2) Auxiliar(2)	36 mil folhas em cadernos	1000 apostilas soltas s/ capa	Normal (1,8;0,13)
Encadernação automática 1	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	1000 apostilas soltas	1000 apostilas	Normal (1,5;0,10)
Encadernação automática 2	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	1000 apostilas soltas	1000 apostilas	Normal (8;0,4)
Encadernação automática 3	Espiraladeira Operador(1) Auxiliar(2)	1000 apostilas soltas s/ capa	1000 apostilas	Normal (1,5;0,08)

QUADRO 22: PARAMETRIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO MODELO DO AMBIENTE HÍBRIDO.

Fonte: a autora

O modelo computacional proposto para o ambiente híbrido é apresentado na Figura 28.

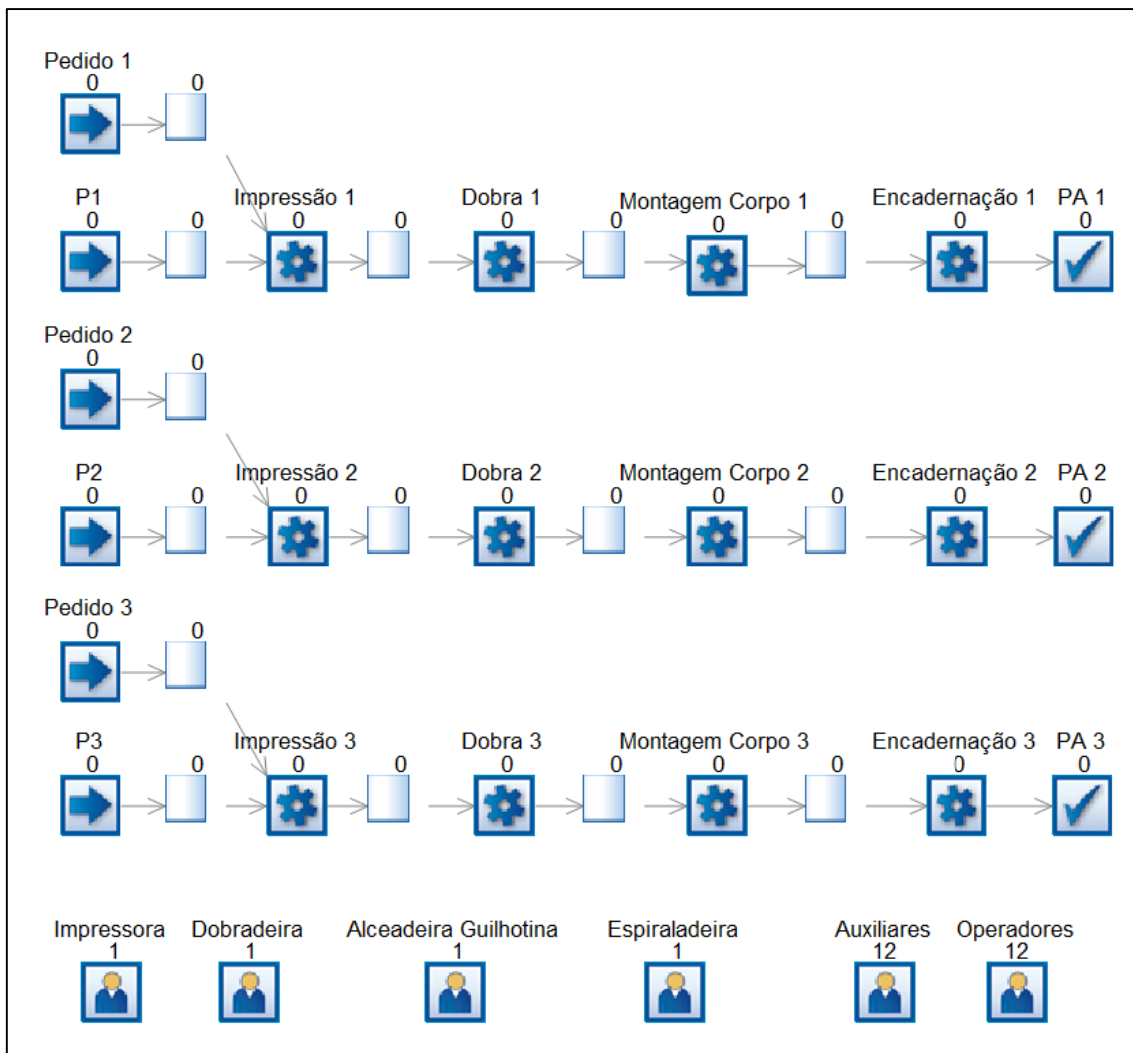


FIGURA 28: MODELO COMPUTACIONAL PROPOSTO PARA O AMBIENTE HÍBRIDO.

Fonte: a autora.

No modelo em ambiente híbrido as matérias primas entram no sistema por previsão de demanda e a produção só é iniciada a partir do pedido do cliente. O modelo difere do puxado pois o pedido do cliente entra no sistema e todas as atividades são realizadas em linha, desde a impressão, passando pela dobra, montagem do corpo e finalizando com a encadernação. O modelo difere do ambiente empurrado pois caso não haja confirmação do pedido, a produção não é iniciada. A mesma dinâmica acontece para os três tipos de produtos que ao serem entregues, alimentam os estoques de produtos acabados, PA1, PA2 e PA3.

5.3.4 Verificação e validação dos modelos

Assim como o modelo que representa o sistema real os modelos propostos devem ser verificados e validados. A verificação dos modelos seguiu os mesmos procedimentos adotados para o modelo do sistema real:

- Implementação e verificação modular;
- Utilização de valores constantes e simplificados confrontados com cálculos manuais;
- Revisão da lógica por um programador profissional.

Já a validação não pode ser realizada conforme a do modelo do sistema real, uma vez que são três modelos fictícios, baseados na literatura e não existentes no mundo real. Portanto, para validar os modelos, foi necessário comparar o funcionamento dos modelos com o funcionamento dos ambientes de produção propostos na literatura, os quais foram compatíveis. Para validação foram utilizados, em cada processo individual dos modelos, os cálculos apresentados por Hoop e Spearman (2013) para os ambientes puxado, empurrado e híbrido (CONWIP).

5.3.5 Cenários propostos

Após a implementação dos três modelos em diferentes ambientes de produção e do modelo do sistema real, são gerados cenários com variações de algumas variáveis, visando compreender quais influências geram nos indicadores de desempenho.

Três cenários são propostos para cada modelo:

- O primeiro cenário, reflete as condições atuais do sistema real em relação à previsão e confirmação de demanda e *mix* de produtos.
- No segundo cenário, mantém-se a previsão do sistema real e propõe-se aumento de 30% na demanda confirmada. O aumento é

considerado igualitário para os três tipos de produtos, ou seja, a porcentagem do *mix* de produtos não é alterada.

- No terceiro cenário, mantém-se a previsão do sistema real e propõe-se redução de 30% na demanda confirmada. A redução é considerada igualitária para os três tipos de produtos, ou seja, a porcentagem do *mix* de produtos não é alterada.

A escolha da variação da demanda em 30% acima ou abaixo da demanda atual confirmada se deve aos seguintes fatos:

- i. Atualmente a produção opera abaixo da sua capacidade máxima, sendo que pode-se produzir cerca de 30% a mais do montante atual, sem alterar a capacidade produtiva instalada atualmente na indústria.
- ii. Em épocas anteriores de baixa demanda, a empresa chegou a produzir 30% menos do que a produção atual.

A partir dos cenários serão avaliados os desempenhos dos quatro modelos propostos, de acordo com os seus indicadores que serão descritos na próxima seção.

5.3.6 Indicadores de desempenho propostos

Neste trabalho, pretende-se avaliar o desempenho dos ambientes de produção empurrada, puxada e híbrida, em relação à quantidade de materiais em processo e aos tempos produtivos.

Para a avaliar o desempenho dos ambientes de produção, serão utilizados os seguintes indicadores:

- Tempo de ciclo médio no sistema para os três produtos: CT1, CT2 e CT3;
- Quantidade de itens finalizados para os três produtos, que são os estoques de produtos acabados: EPA1, EPA2 e EPA3;
- Quantidade de estoques em processo, para os três produtos, em cada estágio do processo: WIP1_MP, WIP1_Dobra, WIP1_Corpo,

WIP1_Encadernação, WIP2_MP, WIP2_Dobra, WIP2_Corpo, WIP2_Encadernação, WIP3_MP, WIP3_Dobra, WIP3_Corpo, WIP3_Encadernação;

- Número de *backorders*, ou seja, quantidade de pedidos de cliente não atendidos para os três produtos: NB1, NB2 e NB3;
- Saldo de itens acabados em estoque para os três produtos: Saldo1, Saldo2 e Saldo3.

Os indicadores serão medidos ou calculados conforme os procedimentos descritos no Quadro 23.

Indicadores	Procedimento para obtenção	Unidade
CT1, CT2 e CT3	Para cada produto será medida diretamente a quantidade de produtos acabados e, a partir da relação de produtos acabados no intervalo de tempo da simulação, será dado o tempo de ciclo médio.	Unidade de tempo: segundos
EPA1, EPA2, e EPA3	Medição direta da quantidade de produtos finalizados no sistema.	Unidades de apostilas
WIP1_MP, WIP2_MP e WIP3_MP	Medição direta do estoque de matéria prima, que é representado nos modelos pela fila antes da atividade de impressão.	Unidades de folha de papel virgem
WIP1_Dobra, WIP2_Dobra e WIP3_Dobra	Medição direta do estoque de material entre a impressão e a dobra, representado pela fila entre as atividades.	Unidades de folhas impressas
WIP1_Corpo, WIP2_Corpo e WIP3_Corpo	Medição direta do estoque de material entre a dobra e a montagem do corpo, representado pela fila entre as atividades.	Unidades de folhas em cadernos
WIP1_Encadernação, WIP2_Encadernação e WIP3_Encadernação	Medição direta do estoque de material entre a montagem do corpo e a encadernação, representado pela fila entre as atividades.	Unidades de apostilas soltas
NB1, NB2 e NB3	Cálculo através da diferença entre a demanda confirmada e atendida. Caso o número seja nulo, toda a demanda confirmada foi atendida. Neste caso pode-se avaliar o saldo de produtos acabados em estoque.	Unidades de pedidos
Saldo1, Saldo2 e Saldo3	Cálculo através da diferença entre produtos produzidos no período de um ano e produtos consumidos pelo cliente final no mesmo período. Em caso de valores negativos, os clientes não foram integralmente atendidos e em caso positivo houve sobra de produto acabado em estoque.	Unidades de apostilas

QUADRO 23: INDICADORES DE DESEMPENHO PARA OS AMBIENTES DE PRODUÇÃO.

Fonte: a autora

Definidos os indicadores de desempenho é finalizada a modelagem computacional e a parametrização da simulação. No Capítulo 6 são

apresentadas as análises realizadas sobre o desempenho dos quatro modelos nos cenários propostos.

6 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados das simulações realizadas nos modelos e cenários propostos no Capítulo 5, bem como a análise perante os objetivos da pesquisa.

6.1 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO CENÁRIO 1: ESTADO INICIAL

No primeiro cenário proposto o intuito é comparar os modelos do sistema real e dos ambientes empurrado, puxado e híbrido, em seus estados iniciais. Para tal foi definido que tanto a previsão de demanda como a sua confirmação em pedidos dos clientes foram similares aos dados atuais do sistema real nos quatro modelos.

No Quadro 24 são apresentadas as demandas previstas e confirmadas para cada tipo de produto, conforme utilizado na simulação. A demanda prevista e calculada pela empresa com base em dados históricos. Já a demanda confirmada, representa o fechamento de pedidos anuais. Neste primeiro cenário os dados de demanda, tanto prevista como confirmada foram dados do último ano na empresa em estudo.

Produto	Demanda prevista	Demanda confirmada
P1	658.000 apostilas 55 pedidos ao ano	552.000 apostilas 46 pedidos ao ano
P2	34.000 apostilas 34 pedidos ao ano	28.000 apostilas 28 pedidos ao ano
P3	112.000 apostilas 28 pedidos ao ano	160.000 apostilas 40 pedidos ao ano

QUADRO 24: DEMANDAS PREVISTAS E CONFIRMADAS PARA O CENÁRIO 1.

Fonte: a autora

Os resultados obtidos para os indicadores de desempenho no primeiro cenário, para os quatro modelos em estudo, são apresentados no Quadro 25 e algumas considerações são realizadas em sequência.

	Resultados obtidos: Cenário 1			
Indicador	Modelo do sistema real	Modelo empurrado	Modelo Puxado	Modelo híbrido
TC1 [s]	12	12	14	26
TC2 [s]	230	230	270	367
TC3 [s]	68	68	50	82
EPA1 [un]	648.000	648.000	552.000	288.000
EPA2 [un]	34.000	34.000	28.000	24.000
EPA3 [un]	112.000	112.000	160.000	92.000
WIP1_MP [un]	372.000	372.000	372.000	4.464.000
WIP2_MP [un]	12.300.000	24.108.000	12.300.000	29.028.000
WIP3_MP [un]	288.000	288.000	2.304.000	1.152.000
WIP1_Dobra [un]	372.000	372.000	0,00	0,00
WIP2_Dobra [un]	492.000	492.000	0,00	492.000
WIP3_Dobra [un]	144.000	144.000	0,00	144.000
WIP1_Corpo [un]	360.000	432.000	24.000	0,00
WIP2_Corpo [un]	1.000	1.000	0,00	0,00
WIP3_Corpo [un]	4.000	4.000	0,00	0,00
WIP1_Encad. [un]	24.000	24.000	0,00	0,00
WIP2_Encad. [un]	1.000	1.000	0,00	0,00
WIP3_Encad. [un]	4.000	4.000	0,00	0,00
NB1 [un]	0	0	0	22
NB2 [un]	0	0	0	4
NB3 [un]	4	4	0	17
Saldo1 [un]	96.000	96.000	0	- 264.000
Saldo2 [un]	6.000	6.000	0	- 4.000
Saldo3 [un]	- 48.000	- 48.000	0	- 68.000

QUADRO 25: RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1.

Fonte: a autora

A análise dos resultados permite afirmar sobre os quatro modelos que:

- No modelo que representa o sistema real, houve saldo positivo dos produtos 1 e 2, entretanto, houve falha no fornecimento do produto 3. Houve uma quantidade considerável de estoque em processo,

principalmente em matéria prima e produtos aguardando a montagem do corpo. Quanto aos tempos de ciclo, foram baixos.

- No modelo empurrado o comportamento foi semelhante ao sistema real.
- No modelo puxado houve atendimento perfeito à demanda, não gerando saldo de nenhum tipo de produto e o tempo de ciclo foi sincronizado com a demanda. Os estoques intermediários foram nulos, considerando o saldo de estoque inicial no processo, necessário para garantir a produção em todos os estágios.
- No modelo baseado em CONWIP houve uma redução considerável no atendimento à demanda, os tempos de ciclo foram muito altos embora todos os estoques tenham sido minimizados.

6.2 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS CENÁRIO 2: AUMENTO NA DEMANDA

No segundo cenário proposto o intuito é comparar os modelos do sistema real e dos ambientes empurrado, puxado e híbrido, quando há aumento de demanda. Para tal foi definido que a previsão de demanda é similar aos dados atuais do sistema real nos quatro modelos, porém a demanda confirmada tem um aumento de 30%.

No Quadro 26 são apresentadas as demandas previstas e confirmadas para cada tipo de produto, conforme utilizado na simulação.

Produto	Demanda prevista	Demanda confirmada
P1	658.000 apostilas 55 pedidos ao ano	720.000 apostilas 60 pedidos ao ano
P2	34.000 apostilas 34 pedidos ao ano	35.000 apostilas 35 pedidos ao ano
P3	112.000 apostilas 28 pedidos ao ano	208.000 apostilas 52 pedidos ao ano

QUADRO 26: DEMANDAS PREVISTAS E CONFIRMADAS PARA O CENÁRIO 2.

Fonte: a autora

Os resultados obtidos para os indicadores de desempenho no segundo cenário, para os quatro modelos em estudo, são apresentados no Quadro 27 e algumas considerações são realizadas em sequência.

	Resultados obtidos: Cenário 2			
Indicador	Modelo do sistema real	Modelo empurrado	Modelo Puxado	Modelo híbrido
TC1 [s]	12	12	10	26
TC2 [s]	230	230	217	367
TC3 [s]	68	68	36	82
EPA1 [un]	648.000	648.000	708.000	288.000
EPA2 [un]	34.000	34.000	35.000	24.000
EPA3 [un]	112.000	112.000	208.000	92.000
WIP1_MP [un]	372.000	372.000	372.000	4.464.000
WIP2_MP [un]	12.300.000	14.760.000	12.300.000	29.028.000
WIP3_MP [un]	288.000	288.000	3.600.000	1.152.000
WIP1_Dobra [un]	372.000	372.000	0,00	0,00
WIP2_Dobra [un]	492.000	492.000	0,00	0,00
WIP3_Dobra [un]	144.000	144.000	0,00	0,00
WIP1_Corpo [un]	192.000	192.000	0,00	0,00
WIP2_Corpo [un]	1.000	1.000	0,00	0,00
WIP3_Corpo [un]	4.000	4.000	0,00	0,00
WIP1_Encad. [un]	24.000	24.000	0,00	0,00
WIP2_Encad. [un]	1.000	1.000	0,00	0,00
WIP3_Encad. [un]	4.000	4.000	0,00	0,00
NB1 [un]	6	6	1	36
NB2 [un]	1	1	0	11
NB3 [un]	8	8	0	29
Saldo1 [un]	-72.000	-72.000	-12.000	- 432.000
Saldo2 [un]	-1.000	-1.000	0	- 11.000
Saldo3 [un]	- 96.000	- 96.000	0	- 116.000

QUADRO 27: RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2.

Fonte: a autora

A análise dos resultados permite afirmar sobre os quatro modelos que:

- No modelo que representa o sistema real, não foi possível atender a demanda de nenhum produto. Os estoques de produtos em processo permaneceram baixos.

- No modelo empurrado o comportamento foi semelhante ao sistema real.
- No modelo puxado houve falha em atendimento à demanda em um lote do produto 1, os demais produtos tiveram demandas atendidas perfeitamente. Os estoques intermediários foram nulos, considerando o saldo de estoque inicial no processo, necessário para garantir a produção em todos os estágios.
- No modelo baseado em CONWIP houve falha no atendimento à demanda em todos os produtos, os tempos de ciclo foram muito altos embora todos os estoques intermediários tenham sido minimizados.

6.3 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO CENÁRIOS 3: REDUÇÃO NA DEMANDA

No terceiro cenário proposto o intuito é comparar os modelos do sistema real e dos ambientes empurrado, puxado e híbrido, quando há diminuição de demanda. Para tal foi definido que a previsão de demanda é similar aos dados atuais do sistema real nos quatro modelos, porém a demanda confirmada tem uma diminuição de 30%.

No Quadro 28 são apresentadas as demandas previstas e confirmadas para cada tipo de produto, conforme utilizado na simulação.

Produto	Demanda prevista	Demanda confirmada
P1	658.000 apostilas 55 pedidos ao ano	396.000 apostilas 33 pedidos ao ano
P2	34.000 apostilas 34 pedidos ao ano	20.000 apostilas 20 pedidos ao ano
P3	112.000 apostilas 28 pedidos ao ano	112.000 apostilas 28 pedidos ao ano

QUADRO 28: DEMANDAS PREVISTAS E CONFIRMADAS PARA O CENÁRIO 3.

Fonte: a autora

Os resultados obtidos para os indicadores de desempenho no terceiro cenário, para os quatro modelos em estudo, são apresentados no Quadro 29 e algumas considerações são realizadas em sequência.

	Resultados obtidos: Cenário 3			
Indicador	Modelo do sistema real	Modelo empurrado	Modelo Puxado	Modelo híbrido
TC1 [s]	12	12	19	23
TC2 [s]	230	230	380	400
TC3 [s]	70	68	68	76
EPA1 [un]	648.000	648.000	396.000	336.000
EPA2 [un]	34.000	34.000	20.000	19.000
EPA3 [un]	108.000	112.000	112.000	100.000
WIP1_MP [un]	0,00	0,00	0,00	2.976.000
WIP2_MP [un]	24.108.000	24.108.000	26.568.000	31.488.000
WIP3_MP [un]	288.000	288.000	864.000	864.000
WIP1_Dobra [un]	0,00	0,00	0,00	0,00
WIP2_Dobra [un]	0,00	0,00	0,00	0,00
WIP3_Dobra [un]	0,00	0,00	0,00	0,00
WIP1_Corpo [un]	192.000	192.000	0,00	0,00
WIP2_Corpo [un]	1.000	1.000	0,00	0,00
WIP3_Corpo [un]	4.000	4.000	0,00	0,00
WIP1_Encad. [un]	24.000	24.000	0,00	0,00
WIP2_Encad. [un]	1.000	1.000	0,00	0,00
WIP3_Encad. [un]	4.000	4.000	0,00	0,00
NB1 [un]	0	0	0	5
NB2 [un]	0	0	0	1
NB3 [un]	1	0	0	4
Saldo1 [un]	252.000	252.000	0	- 60.000
Saldo2 [un]	14.000	14.000	0	- 1.000
Saldo3 [un]	- 4.000	0,00	0	- 12.000

QUADRO 29: RESULTADOS OBTIDOS NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3.

Fonte: a autora

A análise dos resultados permite afirmar sobre os quatro modelos que:

- No modelo que representa o sistema real, não foi possível atender a demanda do produto 3. Os estoques de produtos em processo

permaneceram baixos, porém o estoque de produtos acabados fica elevado.

- No modelo empurrado houve sobra dos produtos 1 e 2, e o produto 3 teve a demanda atendida sem falha nem sobra.
- No modelo puxado houve atendimento perfeito a demanda, não havendo falhas nem sobras, em todos os produtos. Os estoques intermediários foram nulos, considerando o saldo de estoque inicial no processo, necessário para garantir a produção em todos os estágios.
- No modelo baseado em CONWIP houve falha no atendimento à demanda em todos os produtos, os tempos de ciclo foram muito altos embora todos os estoques intermediários tenham sido minimizados.

6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para compreender melhor o comportamento dos quatro modelos frente as variações de demanda, são apresentados alguns gráficos que representam a evolução das grandezas medidas em relação à alteração de demanda.

São analisados o estoque médio de produtos acabados na saída do sistema, saldo de produtos acabados não vendidos, quantidade de estoque de materiais em processo e o tempo de ciclo.

6.4.1 Estoques médios de PA na saída do sistema

O desempenho desejável para os estoques médios de produtos acabados na saída do sistema é que sejam os menores possíveis, desde que suficientes para atender a demanda confirmada. Se os estoques de PA forem muito pequenos em relação à demanda confirmada, há quebra em atendimento. Se forem muito grande, há excesso de produtos acabados que podem tornar-se obsoletos.

Os gráficos das Figuras 29, 30 e 31 permitem visualizar o efeito da variação de demanda, nos quatro modelos estudados, quanto ao estoque de produtos acabados na saída do sistema para os produtos 1, 2 e 3, respectivamente.

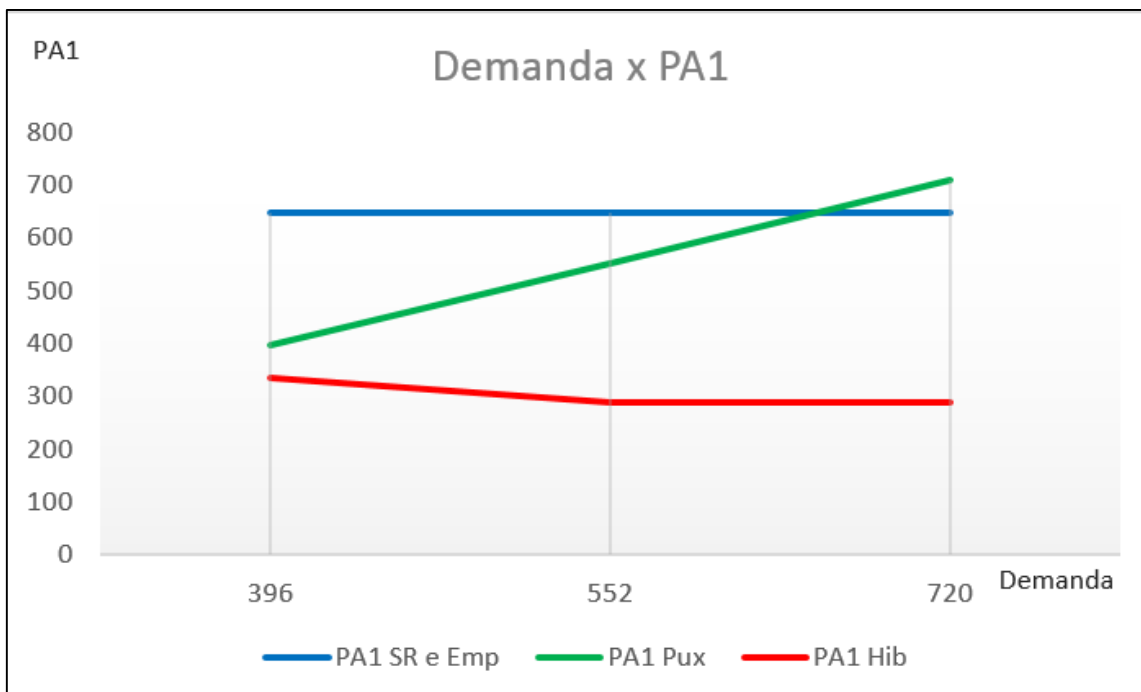


FIGURA 29: DEMANDA VERSUS PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA PARA O PRODUTO 1.

Fonte: a autora.

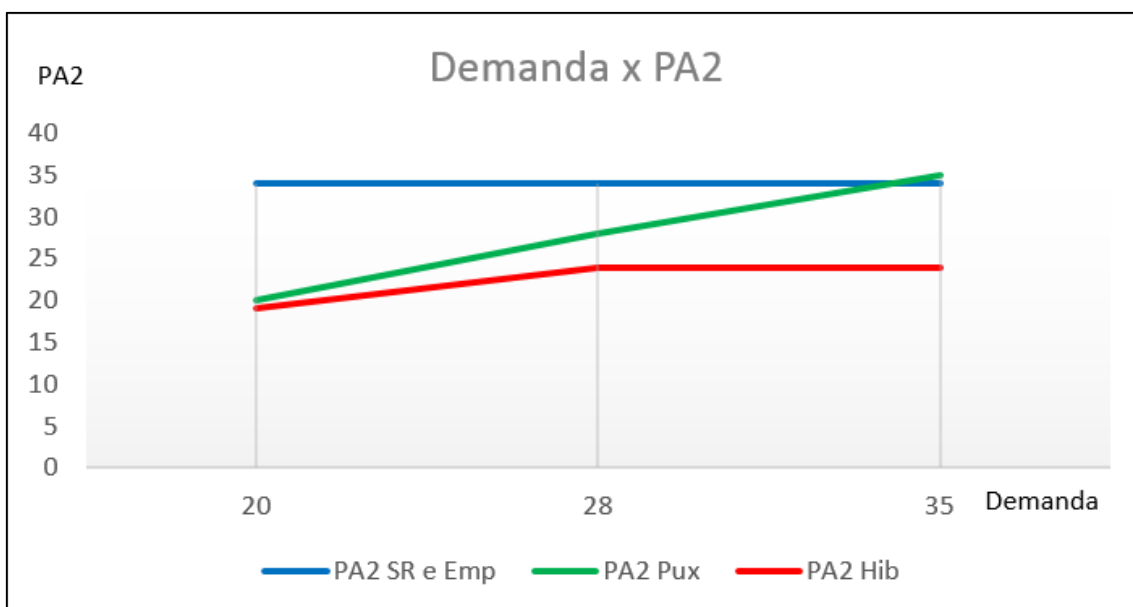


FIGURA 30: DEMANDA VERSUS PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA PARA O PRODUTO 2.

Fonte: a autora

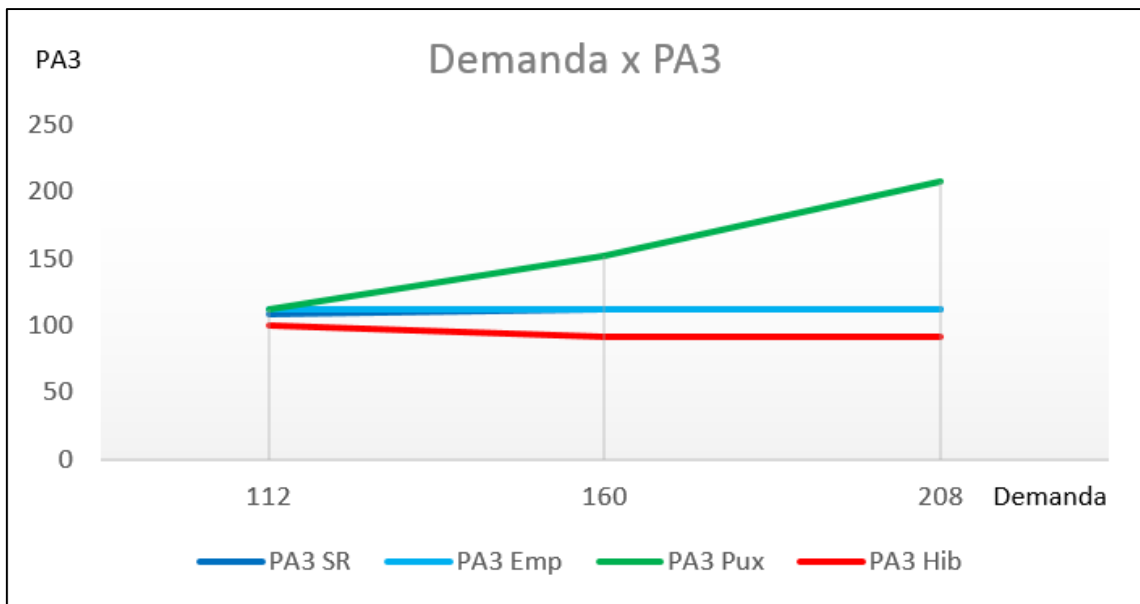


FIGURA 31: DEMANDA VERSUS PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA PARA O PRODUTO 3.

Fonte: a autora

O gráfico da Figura 32 permite visualizar o efeito da variação de demanda, nos quatro modelos estudados, quanto ao estoque de produtos acabados na saída do sistema para a soma dos produtos 1, 2 e 3.

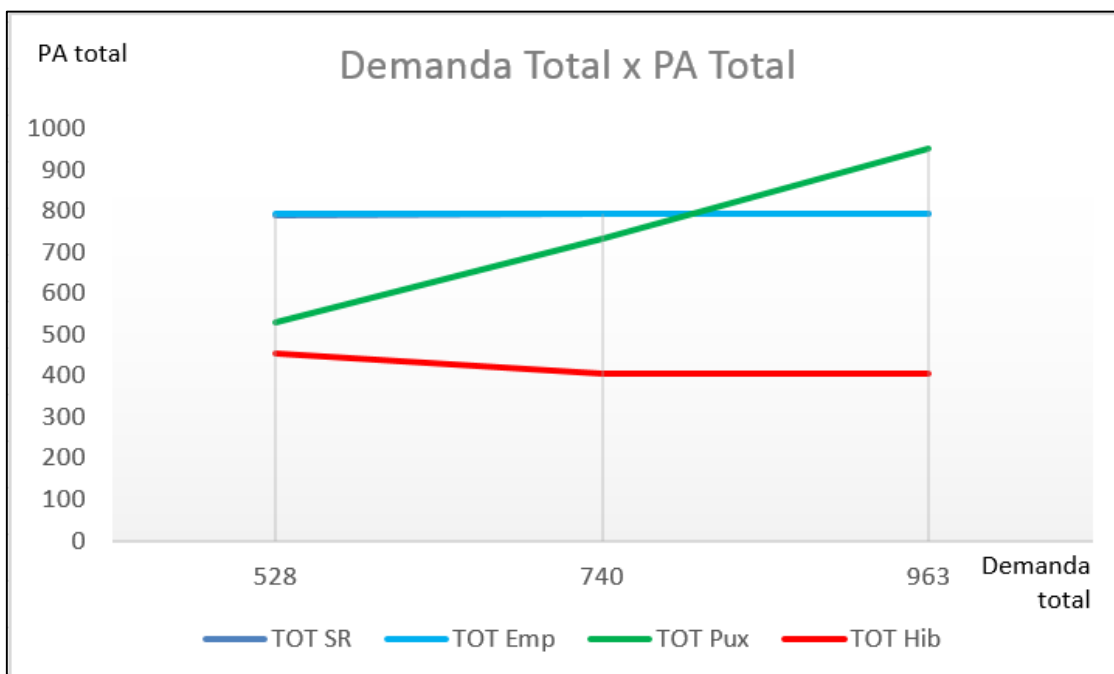


FIGURA 32: DEMANDA TOTAL VERSUS PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA.

Fonte: a autora

Ao analisar os gráficos da demanda versus produtos acabados, pode-se afirmar que o único modelo que acompanha a demanda na saída de produtos acabados é o que representa o ambiente totalmente puxado. Quando a demanda é baixa e sob a demanda atual há superprodução no sistema real e no ambiente empurrado. Quando a demanda é alta nenhum ambiente atende completamente os pedidos dos clientes, porém, no ambiente puxado falta apenas um lote de produtos, enquanto nos demais modelos vários lotes não são atendidos.

O Quadro 30 mostra o melhor desempenho para o indicador estoque de produtos acabados no sistema, para os três níveis de demanda simulados.

Estoque médio de PA												
	Demanda baixa				Demanda atual				Demanda alta			
	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.
P1			X				X				X	
P2			X				X				X	
P3			X				X				X	
Todos			X				X				X	

QUADRO 30: INDICAÇÃO DE MELHOR DESEMPENHO DOS MODELOS PARA OS TRÊS PRODUTOS E PARA A SOMA DOS PRODUTOS PARA O ESTOQUE DE PRODUTOS ACABADOS.

Fonte: a autora

Os comportamentos dos modelos são parecidos para os três tipos de produtos e também para a soma de todos os produtos e demandas. Pode-se afirmar que o melhor desempenho em termos da entrega de produtos acabados na medida em que ocorre aumento de demanda é o ambiente totalmente puxado pois este apresentou quantidades de produtos acabados mais próximas da demanda em todos os produtos, inclusive na somas deles.

6.4.2 Saldo de PA não vendidos e atendimento à demanda

O saldo de produtos acabados não vendidos representa a quantidade de produtos remanescentes no estoque, após a confirmação da demanda, portanto, o melhor caso é quando o saldo é nulo, para qualquer demanda confirmada.

Saldo nulo representa atendimento a demanda sem quebra e ausência de estoque de produtos acabados. Saldo positivo representa atendimento à demanda, porém, produtos em estoque que podem se tornar obsoletos. Saldo negativo representa quebra no atendimento à demanda.

Os gráficos das Figuras 33, 34 e 35 permitem visualizar o efeito da variação de demanda, nos quatro modelos estudados, sobre o saldo de produtos acabados não vendidos após o fechamento dos pedidos dos clientes. Já o gráfico da Figura 36 permite visualizar o efeito da variação de demanda de todos os produtos, nos quatro modelos estudados, sobre o saldo de todos os produtos acabados não vendidos após o fechamento dos pedidos dos clientes.

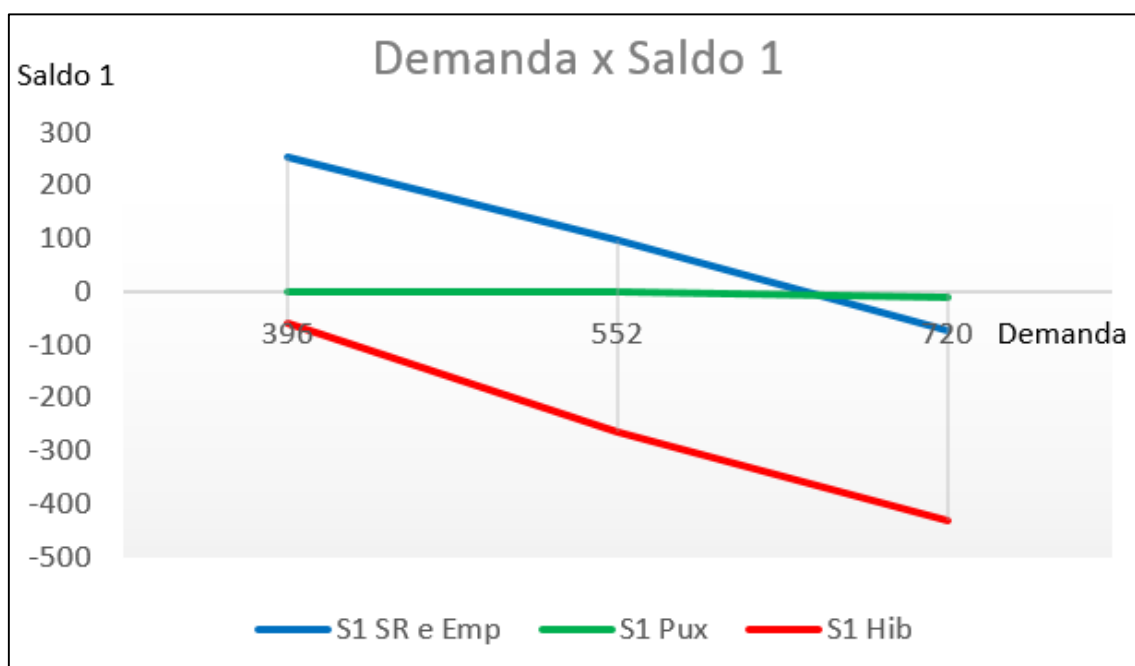


FIGURA 33: DEMANDA VERSUS SALDO DE PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA AO FINAL DO ANO PARA O PRODUTO 1.

Fonte: a autora

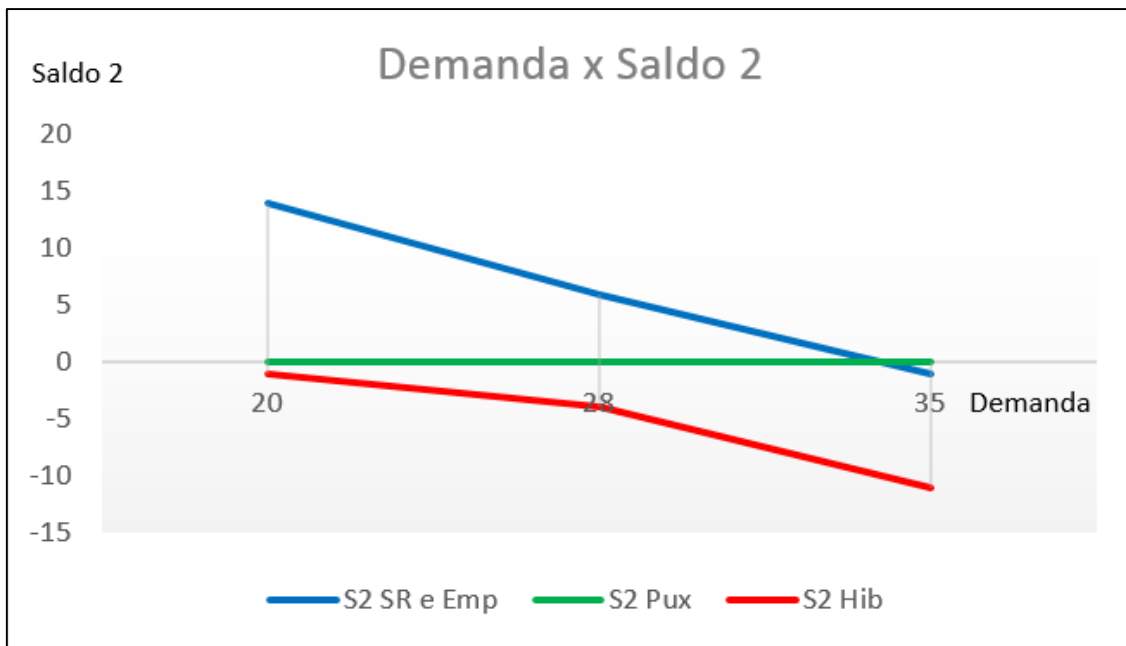


FIGURA 34: DEMANDA VERSUS SALDO DE PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA AO FINAL DO ANO PARA O PRODUTO 2.

Fonte: a autora

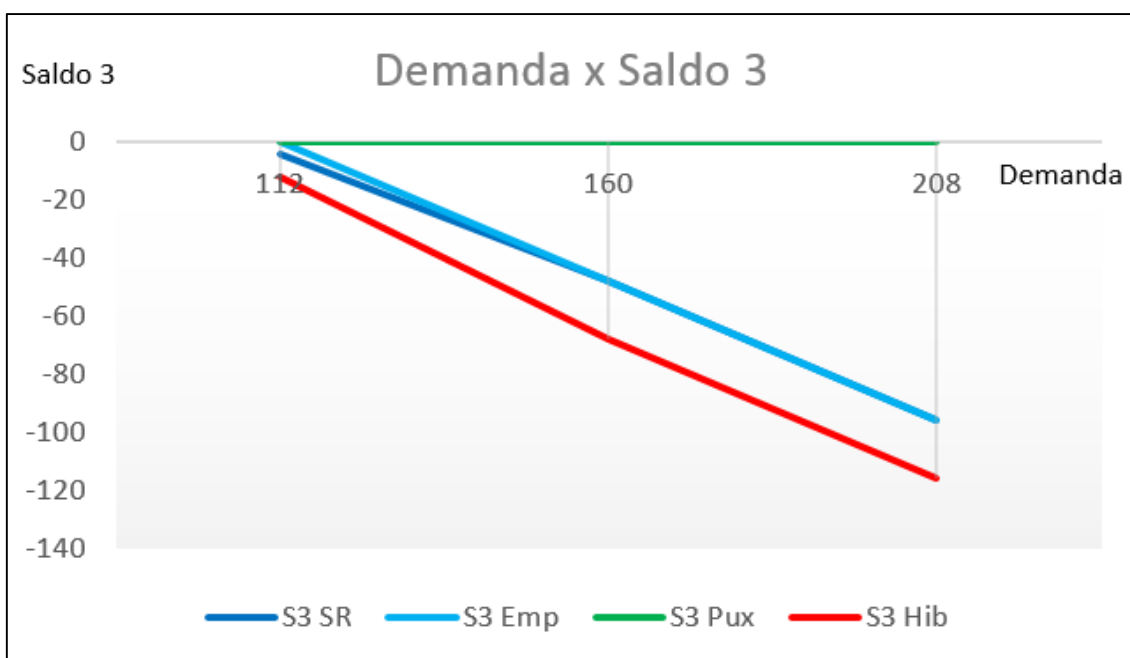


FIGURA 35: DEMANDA VERSUS SALDO DE PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA AO FINAL DO ANO PARA O PRODUTO 3.

Fonte: a autora

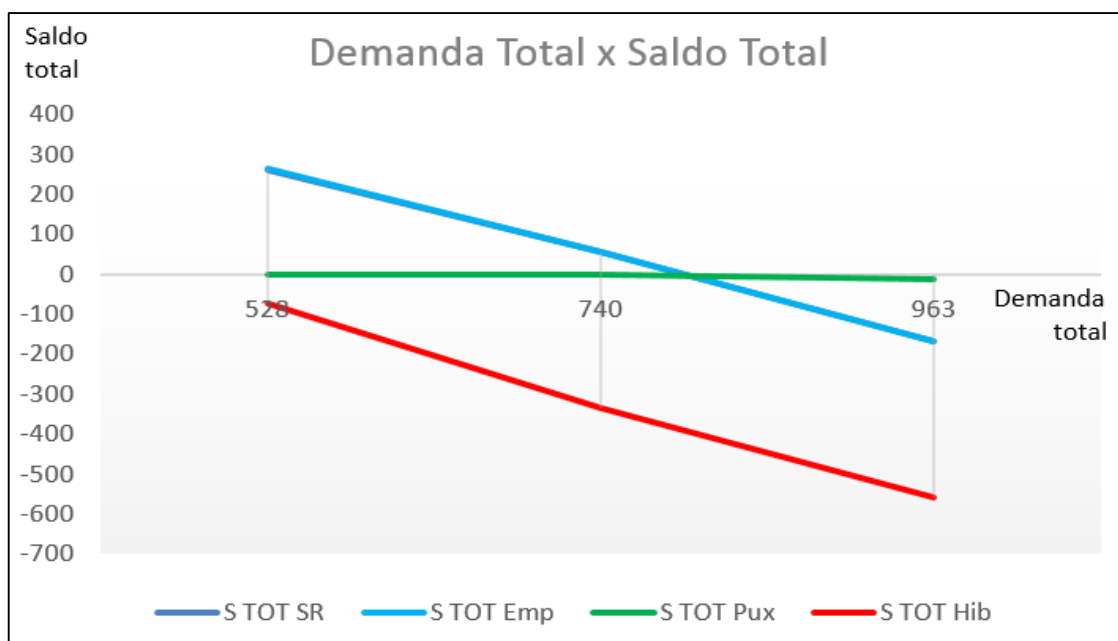


FIGURA 36: DEMANDA TOTAL VERSUS SALDO DE PRODUTOS ACABADOS NO SISTEMA.

Fonte: a autora

A análise dos gráficos permite afirmar que apenas o ambiente puxado encerra o ano sem saldo de apostilas nem falhas no atendimento ao cliente, para todos os níveis de demanda. Os estoques remanescentes de produtos para baixas demandas são muito altos no modelo do sistema real e no empurrado. As falhas em atendimento ao cliente são muito grandes nos modelos do sistema real, empurrado e híbrido para altas demandas. O comportamento dos modelos é semelhante para os três produtos e também para a quantidade total.

O Quadro 31 mostra o melhor desempenho para o indicador saldo de produtos acabados no sistema, para os três níveis de demanda simulados.

Saldo de PA												
	Demanda baixa				Demanda atual				Demanda alta			
	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Hib.	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Hib.	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Hib.
P1			X				X				X	
P2			X				X				X	
P3			X				X				X	
Todos			X				X				X	

QUADRO 31: INDICAÇÃO DE MELHOR DESEMPENHO DOS MODELOS PARA OS TRÊS PRODUTOS E PARA A SOMA DOS PRODUTOS PARA O SALDO DE PRODUTOS ACABADOS.

Fonte: a autora

Os resultados permitem afirmar que, tanto considerando o saldo de produtos em estoque ao final do ano, como atendimento à demanda, o modelo que apresenta melhor desempenho é o que representa o ambiente totalmente puxado.

6.4.3 Estoque de material em processo - WIP

O gráfico da Figura 37 permite avaliar a quantidade de estoque em processo, nos quatro modelos estudados, conforme a demanda é variada, para a soma dos três produtos.

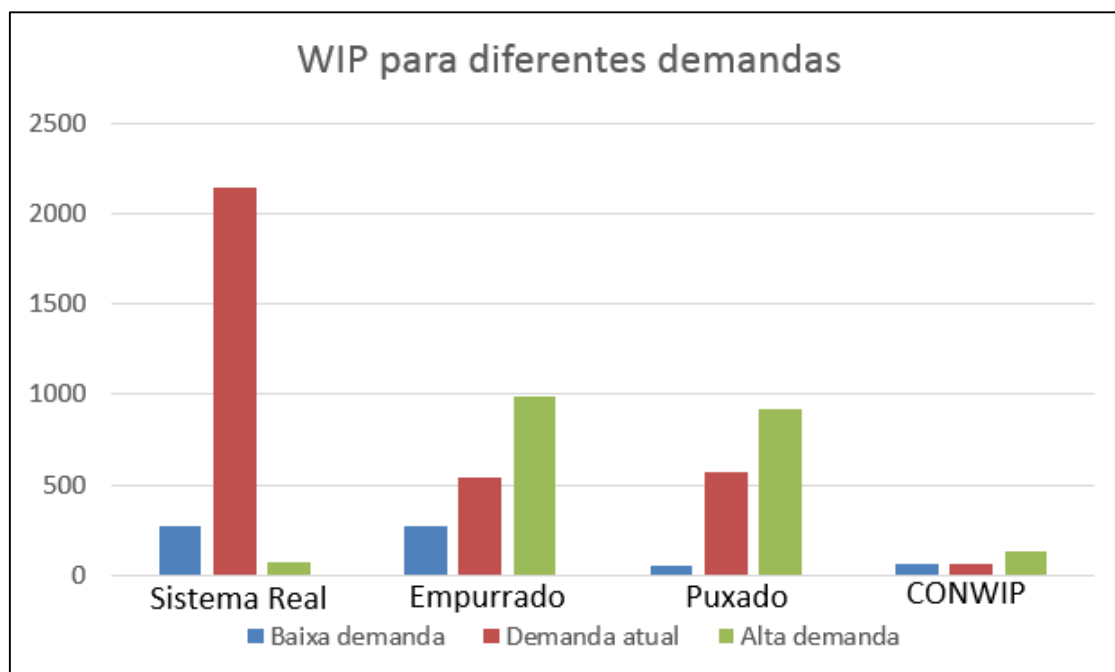


FIGURA 37: WIP TOTAL NO SISTEMA PARA CADA ALTERAÇÃO NA DEMANDA.

Fonte: a autora

Para a comparação, os estoques de material em processos foram todos somados pois são armazenados no mesmo local, sob as mesmas condições, no sistema rel. Como parte dos estoques é medida em folhas, estas foram estimadas em unidades de apostila, possibilitando somar unidades em diferentes etapas do processo produtivo, o que proporciona um montante geral quantitativo em estoque.

A análise do gráfico permite afirmar que apenas o modelo que representa o sistema híbrido baseado em CONWIP apresentou estoques de material em processo baixos. Ao comparar os ambientes puxado e empurrado, estes se mostraram similares para os produtos 2 e 3 e para o produto 1 o puxado obteve desempenho um pouco melhor, conforme pode ser observado nos Quadros 25, 27 e 29, apresentados na seção 6.1. Já o modelo que representa o sistema real apresentou alto índice de estoque em processo, principalmente considerando a demanda atual, o que confirma a situação real da empresa.

O Quadro 32 mostra o melhor desempenho para o indicador estoque de materiais em processo (WIP) no sistema, para os três níveis de demanda simulados.

Estoque de materiais em processo (WIP)												
	Demanda baixa				Demanda atual				Demanda alta			
	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.
P1			X				X		X			
P2			X	X				X	X			X
P3				X				X				X
Todos			X					X	X			

QUADRO 32: INDICAÇÃO DE MELHOR DESEMPENHO DOS MODELOS PARA OS TRÊS PRODUTOS E PARA A SOMA DOS PRODUTOS PARA O WIP.

Fonte: a autora

Ao considerar a quantidade de estoque em processo, pode-se afirmar que o melhor desempenho é atribuído ao modelo que representa o ambiente de produção CONWIP, pois, no montante de todos os produtos, seus estoques intermediários foram muito baixos.

6.4.4 Tempo de ciclo

O tempo de ciclo reflete a frequência de saída dos produtos acabados no sistema e o ideal é que esteja sincronizado com o *tack-time*, ou seja, tempo de solicitação dos produtos pela demanda.

Os gráficos das Figuras 38, 39 e 40 permitem avaliar os tempos de ciclo sob os efeitos das diferentes demandas, para os produtos 1, 2 e 3, respectivamente.

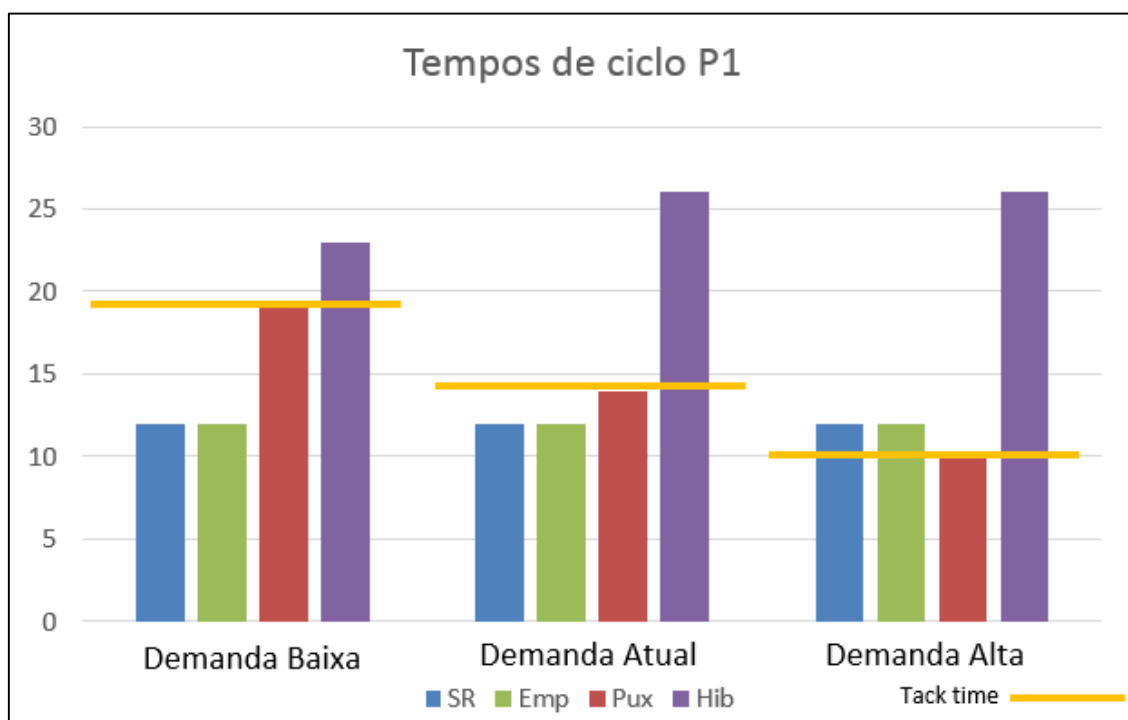


FIGURA 38: TEMPOS DE CICLO PARA CADA ALTERAÇÃO NA DEMANDA PARA O PRODUTO 1.

Fonte: a autora

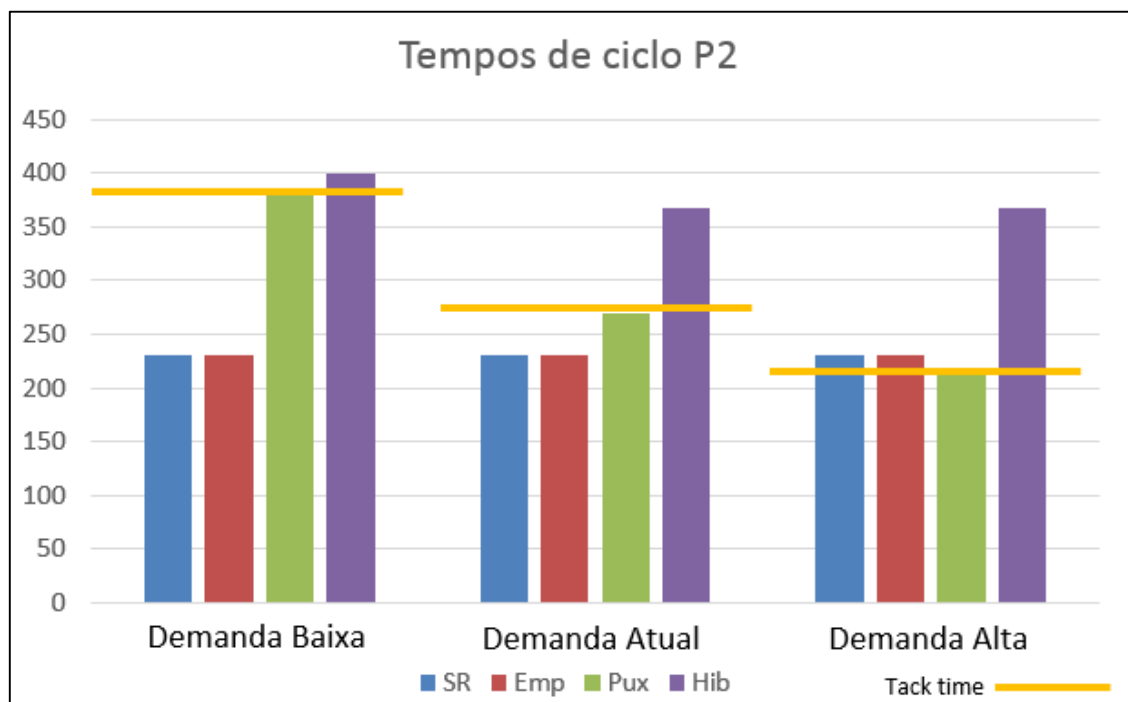


FIGURA 39: TEMPOS DE CICLO PARA CADA ALTERAÇÃO NA DEMANDA PARA O PRODUTO 2.

Fonte: a autora

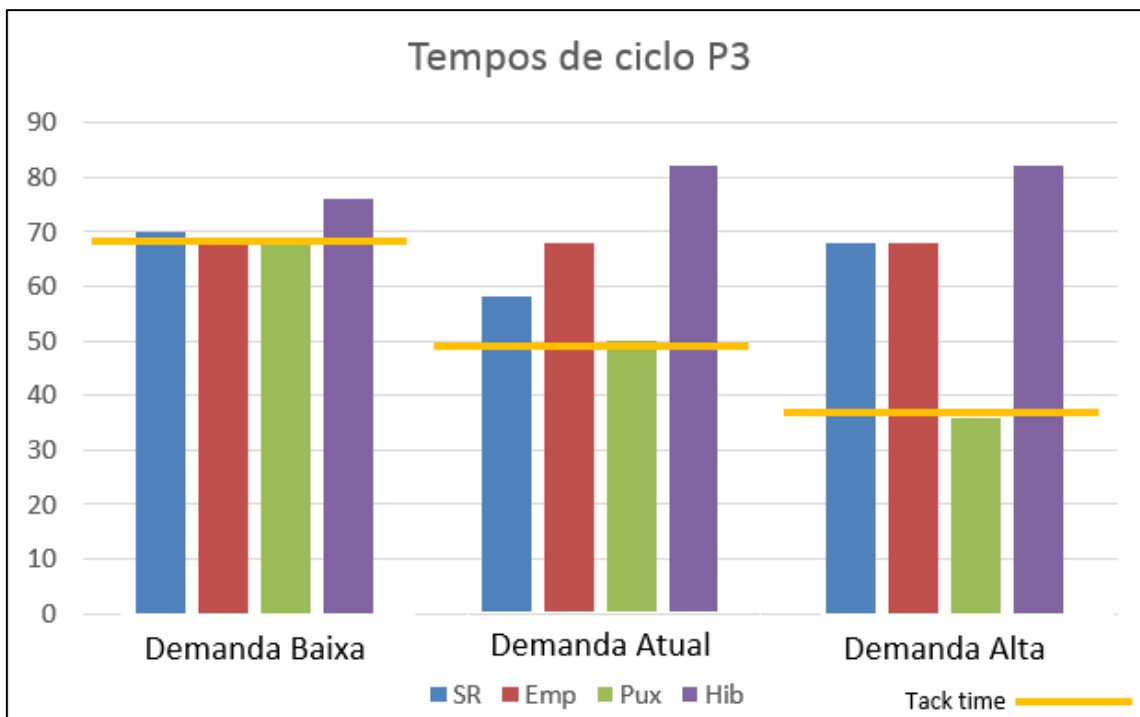


FIGURA 40: TEMPOS DE CICLO PARA CADA ALTERAÇÃO NA DEMANDA PARA O PRODUTO 3.

Fonte: a autora

A análise dos gráficos permite afirmar que o sistema CONWIP possui os maiores tempos de ciclo comparados aos demais sistemas para todos os produtos.

O sistema puxado apresentou redução de ciclo, conforme aumento da demanda, o que mostra que a produção está sincronizada com a saída de produtos acabados em todos os produtos.

O sistema empurrado e o sistema real mantiveram tempos de ciclo para os produtos 1 e 2 iguais em todos os tipos de demanda, uma vez que o início da produção é determinado pela previsão e não pelo fechamento de demanda. Para o produto 3 os tempos de ciclo se mantiveram acompanhando a demanda sob baixa demanda, porém, para a demanda atual e demanda alta, os tempos de ciclo são maiores que o necessário para atender a demanda.

O Quadro 33 mostra o melhor desempenho para o indicador tempo de ciclo, para os três níveis de demanda simulados.

Tempo de Ciclo												
	Demanda baixa				Demanda atual				Demanda alta			
	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.	Sist. Real	Sist. Emp.	Sist. Pux.	Sist. Híb.
P1			X				X			X	X	
P2			X				X				X	
P3			X				X				X	

QUADRO 33: INDICAÇÃO DE MELHOR DESEMPENHO DOS MODELOS PARA OS TRÊS PRODUTOS E PARA A SOMA DOS PRODUTOS PARA O TEMPO DE CICLO.

Fonte: a autora

Pode-se afirmar então que, o melhor desempenho em termos de tempo de ciclo sob os efeitos da variação de demanda é do sistema puxado pois apresenta um tempo de ciclo sincronizado com a demanda.

6.4.5 Resultados gerais de desempenho

Foram analisados dois indicadores relacionados aos produtos acabados: estoque de produtos acabados no sistema ao final da simulação e saldo de produtos remanescentes no sistema após consumo da demanda ao final da simulação. Conclui-se que para ambos os indicadores o modelo que representa a programação puxada da produção obteve melhor desempenho, visto atingiu o objetivo de manter baixos estoques, porém, garantindo atendimento à demanda quase que completamente.

Para o indicador que mede os estoques de material em processo (WIP) conclui-se que o melhor desempenho é atribuído ao modelo que representa a programação híbrida da produção, baseada em CONWIP, uma vez que manteve seus níveis de estoque em processo estáveis e menores que os demais modelos, chegando a ser mínimos para alguns produtos. Sobre o estoque de materiais em processo é importante ressaltar que, em todos os casos, a maior quantidade de materiais está em matérias primas, o que se deve à consideração feita de que sempre há matéria prima disponível para produção, conforme a prática adotada pela empresa estudada.

O tempo de ciclo foi o último indicador analisado, onde o modelo que representa a programação puxada da produção obteve novamente o melhor desempenho, visto que apresentou tempos de ciclo sincronizados com o *tack time*, mostrando que a produção acompanha a evolução da demanda. Entretanto, é importante ressaltar que, em casos de baixa demandas, pode ocorrer ociosidade nos recursos produtivos e em casos de alta demanda pode ocorrer sobrecarga na sua utilização.

Uma restrição que pode-se apresentar ao sistema de produção puxada é que, como os lotes de produção são menores que o econômico, e a matriz de impressão só pode ser reutilizada duas vezes, seria necessário substituí-la a cada dois lotes do mesmo produto. Isto implicaria em um custo adicional à produção que teria que ser confrontado com o custo do armazenamento em estoque de materiais em processo e produtos acabados e com o custo dos produtos que são perdidos por obsolescência em estoque de acabados, já que periodicamente os materiais sofrem alterações didáticas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho da programação da produção puxada, empurrada, híbrida e de um ambiente de produção específico da indústria gráfica através de simulação computacional.

Para esta comparação, foi realizado um estudo da gráfica que levou à construção do modelo conceitual que representa o ambiente de produção real e, através do modelo conceitual, foi gerado um modelo computacional, utilizando o software de simulação Simul8®.

Tanto o modelo conceitual como o computacional foram validados frente ao sistema real, através de ferramentas de validação descritas na literatura. O modelo computacional, além de validado foi verificado quanto ao seu funcionamento adequado.

Após a validação do modelo computacional que representa o sistema produtivo real da gráfica, foram gerados outros modelos representando os ambientes puxado, empurrado e híbrido (CONWIP), o que permitiu comparar o desempenho dos diferentes ambientes em três cenários de simulação.

Após as simulações dos ambientes em todos os cenários, pode-se afirmar que o modelo que representa o sistema puxado obteve o melhor desempenho quanto à níveis de estoque de produtos acabados, saldo de produtos remanescentes ao final do ano e tempos de ciclo. Já quanto aos níveis de estoque em processo, o sistema CONWIP obteve o melhor desempenho.

Ficou evidente neste trabalho que, embora o sistema híbrido baseado em CONWIP tenha obtido excelentes resultados quanto aos índices de materiais em processo, o que representa uma grande economia para a produção com armazéns e capital parado em fábrica, nem sempre é a melhor escolha, visto que apresenta altos índices de quebra em atendimento à demanda.

Quanto ao sistema real, atualmente instalado na fábrica, a simulação permitiu confirmar uma das características detectadas na pesquisa de campo, de altos índices de material em processo e produtos acabados.

O trabalho limitou-se à análise de uma única indústria gráfica, através do estudo de caso, e considera-se a replicabilidade dos resultados obtidos aplicável apenas para outras indústrias que operam em ambiente de produção similar ao da empresa estudada e não a todo o setor. Dessa forma, uma proposta de trabalho futuro seria estender a análise a outras indústrias gráficas, visando obter resultados aplicáveis no ambiente gráfico em geral e não apenas aos similares à empresa estudada, podendo caracterizar o setor gráfico como um todo.

Como outra proposta de trabalhos futuros poderia ser realizada uma estimativa dos custos das matrizes de impressão, estoques de produtos em processo e de produtos acabados, bem como um levantamento da quantidade de materiais perdidos por obsolescência. A partir das estimativas seria possível comparar o desempenho, não apenas em termos dos níveis de estoque, mas também quanto aos custos associados aos diferentes ambientes de produção.

Sugere-se também uma simulação considerando a qualidade dos produtos finais, incluindo parcelas de produtos não conformes, de acordo com investigação no ambiente real, considerando os tempos e recursos alocados para retrabalho.

A realização do trabalho permitiu à autora um conhecimento amplo sobre o planejamento e controle da produção, em todos os seus níveis, bem como a prática de tratativa entre academia e indústria. Durante as pesquisas de campo realizadas na indústria, foi possível entender como o ambiente produtivo é gerenciado e as ocorrências planejadas, as não planejadas e as medidas adotadas para contornar seus efeitos.

A empresa estudada, através do seu coordenador de PCP, se mostrou receptiva e se prontificou a fornecer os detalhes sobre o funcionamento e as rotinas do ambiente de produção. Uma limitação encontrada foi quanto ao fornecimento de dados brutos sobre os tempos de produção nas estações de trabalho, para cada tipo de produto, tendo sido fornecidos apenas médias e desvios padrão sobre os mesmos. Dessa forma, as curvas de distribuição de

probabilidade atribuídas aos processos e aos intervalos entre chegadas de pedidos e materiais no sistema foram designadas teoricamente.

REFERÊNCIAS

ABEPRO. Áreas da Engenharia de Produção. Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/>>. Acesso em: 16 março 2015.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO MEIO AMBIENTE. Manual de implementação do EMAS no sector da indústria gráfica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA GRÁFICA. Disponível em: <<http://www.abigraf.org.br/>>. Acesso em: 01 outubro 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA GRÁFICA. Estudo setorial da indústria gráfica no Brasil. São Paulo, SP: ABIGRAF, p. 66, 2009.

BANKS, J. CARSON, J. S. Discrete-Event System Simulation, Prendice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984.

BARCO C. F. e VILLELA F. B. Análise dos sistemas de programação e controle da produção. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008. BATEMAN, Robert E et al. A simulação: aprimorando os sistemas. São Paulo: Belge, 1999.

BERGE, L. X. Análise das Potencialidades do Uso da Ferramenta de Simulação Computacional em Operações Logísticas: Estudo de Caso em um Armazém Geral. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BONNEY, M. C. et al. Are push and pull systems really so different? International journal of Production Economics. V.59, n.1, p.53-64, 1999.

BONVIK, Asbjorn M.; COUCH, C. E.; GERSHWIN, Stanley B. A comparison of production-line control mechanisms. International journal of production research, v. 35, n. 3, p. 789-804, 1997.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. Introdução ao Software de Simulação Simul8. Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Goiânia, GO, 2006.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. Modelagem e simulação de eventos discretos. 4ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso; PEREIRA, Wilson I.; VIEIRA, Darli R.; PÉCORA JR, José E. Introdução ao Simul8. 1ed. São Paulo: ed. dos autores, 2015.

CLETO, Marcelo G. A gestão da produção nos últimos 40 anos. Revista FAE Business, n.º 4, p. 38-41, 2002.

DAFT, Richard L. Administração. Pioneira Thomson Learning, 2006.

DE HAAS, Marco; KLEINGELD, Ad. Multilevel design of performance measurement systems: enhancing strategic dialogue throughout the organization. Management Accounting Research, v. 10, n. 3, p. 233-261, 1999.

FERRARI, Alonso Trujillo. Metodologia da pesquisa científica. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

FILHO, M. G. e FERNANDES F. C. F. Redução da Instabilidade e Melhoria do Desempenho do Sistema MRP. Produção, v. 16, n. 1, p. 064-079, Jan./Abr. 2006.

FILHO, M. G. e UZSOY, R. Efeito da redução do tamanho de lote e de programas de Melhoria Contínua no Estoque em Processo (WIP) e na Utilização: estudo utilizando uma abordagem híbrida System Dynamics - Factory Physics. Produção, v. 19, n. 1, jan./abr. 2009, p. 214-229.

FREITAS FILHO, Paulo José de. Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena. 2 ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

FORRESTER, Jay W. Principles of systems. Cambridge: Wrigth-Allen Press Inc., 1968.

GHINATO, Paulo. Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just-in-time. Production, v. 5, n. 2, p. 169-189, 1995.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOULART, CHRISTIANE PERES. Proposta de um modelo de referência para planejamento e controle da produção em empresas virtuais. Diss. Universidade de São Paulo, 2000.

GOTTESMAN, K. Jit manufacturing is more than inventory programs and delivery schedules. Industrial Engineer, pages 19–20,58, May 1991.

GSTETTNER, S., e KHUN, H.: Analysis of production controlsystems Kanban and CONWIP. International Journal of Production Research. V.34, p. 3253-3273,1996.

HARREL, C. R.; BATEMAN, R. E.; GOGG, T. J.; MOTT, J. R. A. System improvement using simulation. Orem, Utah, USA, PROMODEL Corporation, 1992.

HOCHREITER, T. A. A Comparative Simulation Study of Kanban, CONWIP, and MRP Manufacturing Control Systems in a Flowshop. Dissertação de mestrado. Department of Industrial & Systems Engineering, University of Florida, 1999.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. A ciência da fábrica, Bookman, 3a ed. 2013.

KIM, I. Asynchronous Waste: Na Alternative Performance for Pull Production Control Systems. International Journal of Management Science, Vol. 6, n. 1, 2000.

KOTLER, P.; ARMSTRONG, G. Princípios de marketing. Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil, 1993.

LAURINDO, F. J. B.; MESQUITA, M. A. Material Requirements Planning: 25 anos de história – Uma revisão do passado e prospecção do futuro. GESTÃO & PRODUÇÃO v.7, n.3, p.320-337, dez. 2000.

LAW, Averill M.; KELTON, W. David. Simulation modeling and analysis. 2. ed. EUA: MacGraw-Hill, Inc., 1991.

LEE, L. C. A Comparative Study of the Push and Pull Production Systems. International Journal of Operations and Production Management. Vol 9, n4, 1989.

LEMOS, A. C. D. Aplicação de uma Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban em um Caso Real Utilizando a Simulação Computacional. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

LIKER, J. K. O Modelo Toyota de Produção. Bookman Companhia, ed 2005.

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M.A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. Planejamento e controle da Produção. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2008.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de Metodologia Científica. 7ª.ed. São Paulo: Atlas,2010.

MATTAR, Fauze Najib. Pesquisa de marketing: metodologia e planejamento. V. 1. São Paulo: Atlas, 1996.

MEGGINSON, L. C.; MOSLEY, D. C.; JUNIOR, H. P. P. Administração: conceitos e aplicações. São Paulo, Harbra Ltda, 1986.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. Revista Produção, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

MISSBAUER, H. e UZSOY, R., Optimization Models for Production Planning, Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise v.1, Springer, 2010.

MONDEN, Y. Sistema Toyota da Produção. IMAM, Sao Paulo, 1984.

MONKS, J. G. Administração da produção. São Paulo: McGraw Hill, 1987.

MONTEVECHI, J. A. B.; COSTA, R. F. S.; LEAL, F.; PINHO, A. F. Economic Evaluation of Scenarios for Manufacturing Systems Using Discrete Event Simulation Based Experiments. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 7, pg 77-103, 2010.

MOREIRA D. *Administração da Produção e Operações*. Saraiva, 1ª ed., 2008.

MÜLLER, Cláudio J. *Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistemas de avaliação de desempenho e gerenciamento de processos*. Tese de doutorado em engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

MÜLLER, Cláudio J.; CORTIMIGLIA, Marcelo N.; GABRIELLI, Leandro V.; KAPPEL, Alexandre M. Gerenciamento de processos e indicadores em educação à distância. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 2003, Ouro Preto. Anais do evento. Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2003.

NEELY, A. The performance measurement revolution: why now and what next? *International Journal of Operations and Production Management*, v.19, n.2, p. 205-228, 1999.

NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operation & Production Management*, n. 4, v. 15, p. 80-116, 1995.

OHNO, T. *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*, Bookman, Porto Alegre, 1997.

PEDGEN, D. C.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. *Introduction of Simulation using Siman*. McGraw-Hill, New Jersey, second edition, 1995.

PIRES, SRI. *Gestão estratégica da manufatura*. Editora UNIMEP, 1995.

PRADO, D. *Usando o Arena em Simulação*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

RENTES, A. F.; VAN AKEEN, E. M.; ESPOSTO, K. F. Processo de desenvolvimento de um Sistema de medição de desempenho baseado em uma metodologia de transformação organizacional. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 2001, Salvador. Anais do evento. Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2001.

SABILY, Eduardo. *Softwares para simulação*. Anais do Workshop de Simulação, Rio de Janeiro: Coppead, 1997.

SEBRAE. Critérios de Classificação de Empresas. Disponível em <<http://www.sebrae-sc.com.br>>, acesso em janeiro de 2016.

SHINGO, S. *O Sistema Toyota de Producao do Ponto de Vista da Engenharia de Producao*. Artes Medicas, Porto Alegre, 1996.

SLACK, N., CHAMBERS, S. e JOHNSTON, R. Administração da Produção. Editora Atlas, 2007.

SPEARMAN, Mark L.; WOODRUFF, David L.; HOPP, Wallace J. CONWIP: a pull alternative to kanban. The International Journal of Production Research, v. 28, n. 5, p. 879-894, 1990.

SPEARMAN, Mark L.; ZAZANIS, M. A. Push and Pull Production Systems: Issues and Comparisons. Operations Research. Vol 40, 1992.

STONER, J. A. F.; FREEMAN, R. E. Administração. Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil, 1995.

WIENDEHAL, H. P.; HOBIG, MICHAEL. Balanced production planning and control in production networks. Strategic Management of the Manufacturing Value Chain. 1998.

WOMACK, J. P., JONES, D. T. e ROOS, D. A Máquina que Mudou o Mundo. Editora Campus, 1992.

TORGA, B. L. M.; MONTEVECHI J. A. B. e PINHO, A. F. Modelagem, simulação e otimização em sistemas puxados de manufatura. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006.

TUBINO, D. F. Planejamento e Controle da Produção, Teoria e Prática. Editora Atlas, 2.ed., 2009.

TUBINO, D. F. Manual de Planejamento e Controle de Produção. Atlas, São Paulo, 1997.

TUBINO, D. F.; DANNI, T. S. Uma proposta de sistema de avaliação operacional no ambiente JIT. Maquinas e Metais, 378:120–130, Julho 1997.

VOLLMANN, T. E.; BERRY, W. L.; WHYBARK, D. C. e JACOBS, F. R. Sistemas de Planejamento e Controle da Produção para Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. Editora Bookman, 5.ed. 2006.

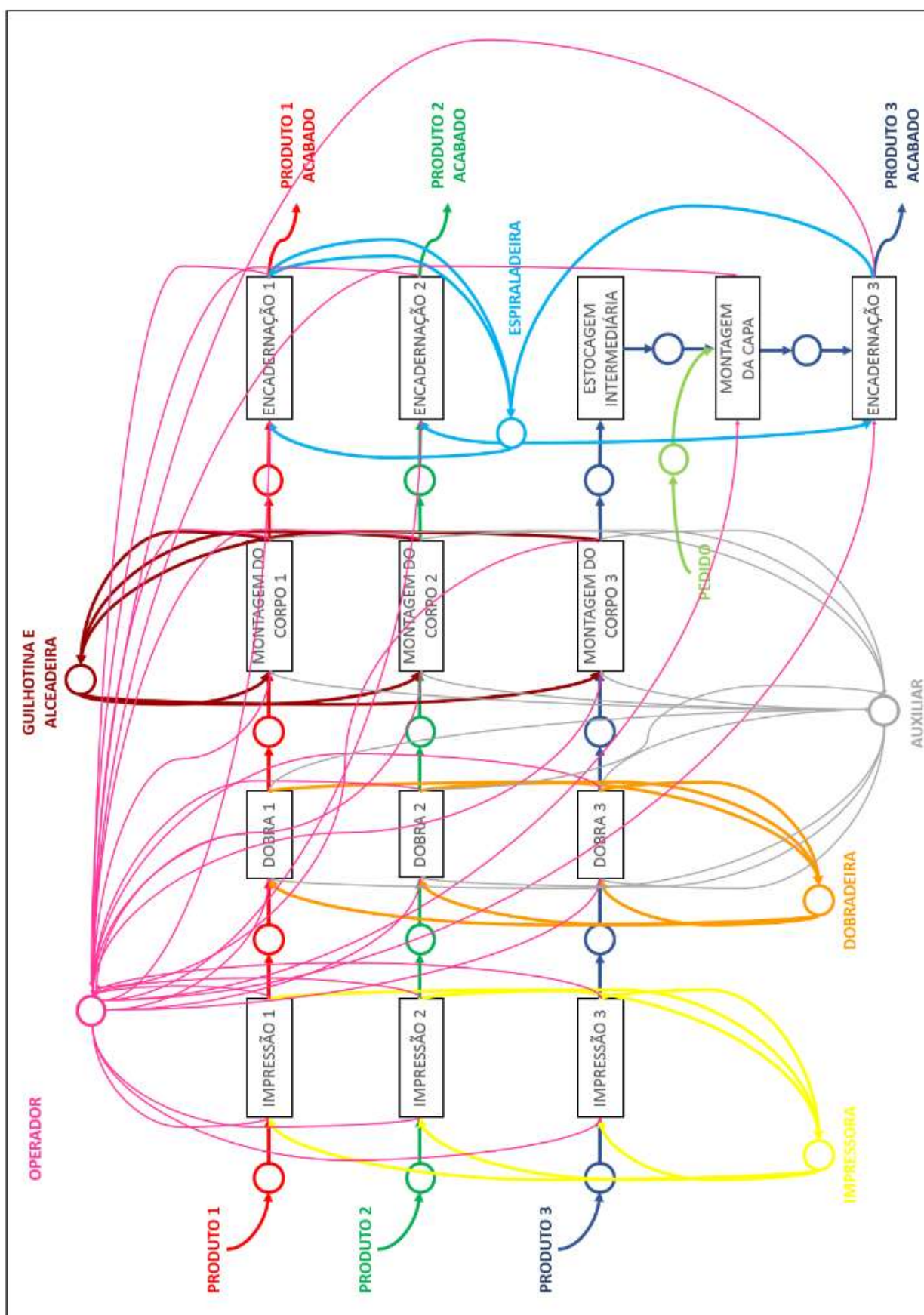
YIN, Robert K. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. Bookman editora, 2015.

ZATTAR, Izabel Cristina; RUDEK, Samuel; TURQUINO, Geizy Siélly. O uso do indicador OEE como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica—um caso prático. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, v. 2, n. 4, p. 113-132, 2011.

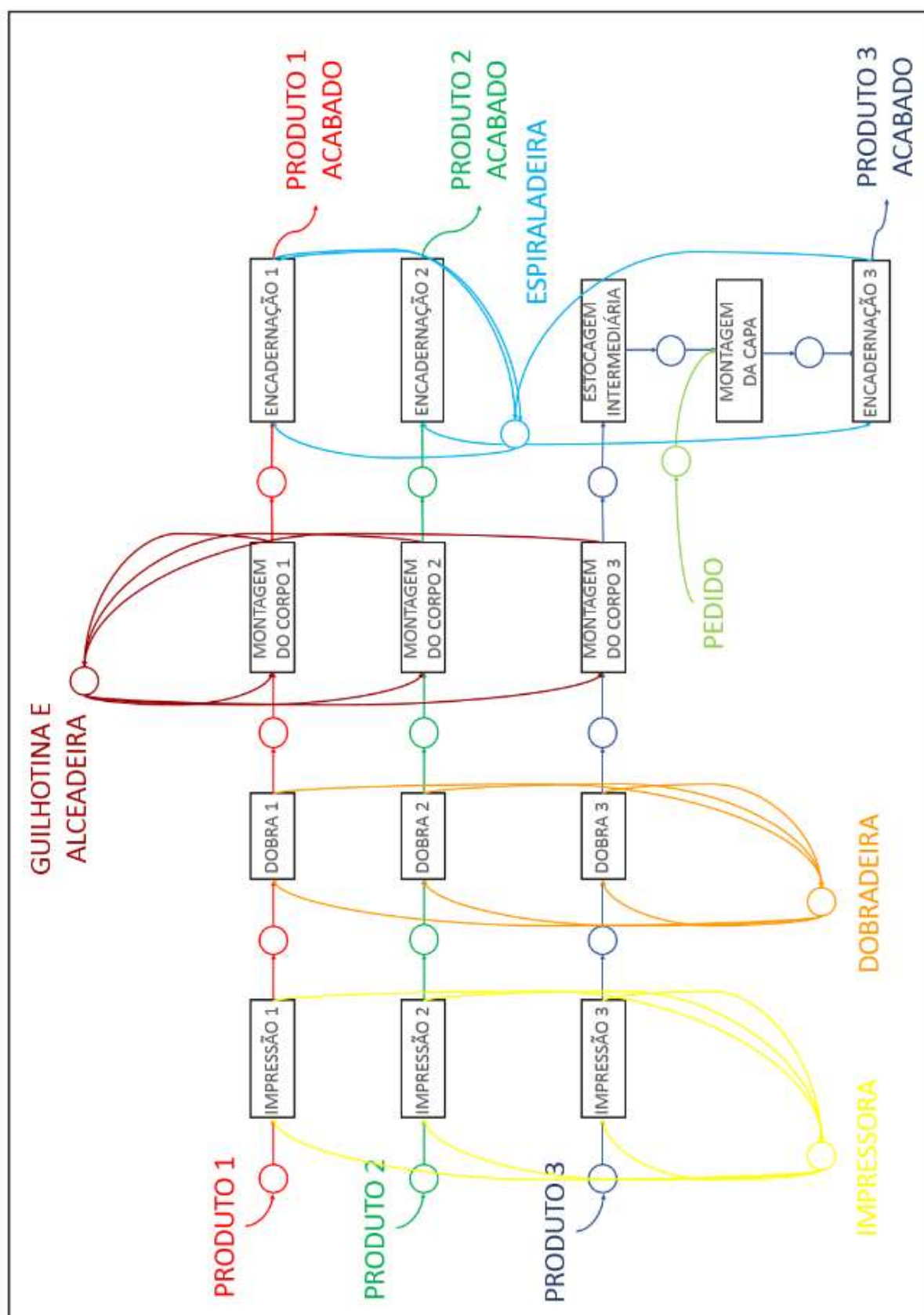
APÊNDICES

APÊNDICE 1 – ACD DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA GRÁFICA	157
APÊNDICE 2 – ACD SIMPLIFICADO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA GRÁFICA	158
APÊNDICE 3 – QUESTIONÁRIO PARA VALIDAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	159

APÊNDICE 1



APÊNDICE 2



APÊNDICE 3

Para compreender o funcionamento do sistema produtivo da indústria em estudo foi realizado um questionário com o coordenador de PCP, o qual foi interrogado sobre as seguintes questões:

- i. Quais são tipos de produtos e quantos modelos são processados na linha de produção?
- ii. Qual o grau de padronização ou personalização dos produtos?
- iii. Qual o grau de padronização da linha de produção?
- iv. Qual o tipo de operação da unidade produtiva?
- v. Qual o tipo de ambiente produtivo?
- vi. Quais são os postos de trabalho e áreas de estocagem existentes na planta produtiva?
- vii. Em cada posto de trabalho qual a capacidade produtiva, a necessidade de recursos e como é realizado o *setup*?
- viii. Em cada área de estocagem qual o tipo de material armazenado?
- ix. Quais os materiais, subprodutos e produtos existem ao longo da transformação de matéria prima em produtos acabados?
- x. Quais são as etapas do processo produtivo?
- xi. Como é o fluxo do processo produtivo e possíveis recursos gargalos?

Para validar o modelo conceitual foi realizado um questionário com o coordenador de PCP da empresa em estudo, o qual foi interrogado sobre as seguintes questões:

- i. Diante das considerações estabelecidas para simplificação do sistema real no modelo conceitual, existe alguma que poderia impactar nos resultados obtidos em uma simulação computacional, no que tange aos objetivos do estudo podendo resultar em erros na análise?
- ii. Caso existam considerações que possam resultar em erros na análise da simulação, quais seriam e qual a melhor forma de tratá-la no modelo conceitual?

- iii. O fluxograma do processo em simbologia padrão ANSI parece adequado ao processamento, considerando todas as simplificações propostas? Caso não esteja adequado, qual a sugestão de melhoria?
- iv. As entidades, recursos e processos do modelo conceitual foram definidas de acordo com o funcionamento do sistema real? Caso não tenham sido definidas corretamente, como poderiam ser redefinidas?